

# **פרויקט בהערכה חלופית המבוסס על איסוף ועיבוד מידע מתחנות לניטור מזהמי אוויר בזמן אמת**

**פיתוח:**

**ד"ר אורית הרשקוביץ וד"ר מרינה טל**

**סיוע: ד"ר צביה קברמן**

**ראש הפרויקט: פרופ. יהודית דורי**

**הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון**

**המשימות מבוססות בחלקן על תוכנית: עולים לאוויר – איכות האוויר במפרץ חיפה**  
התוכנית פותחה על ידי ד"ר אורית הרשקוביץ וד"ר מרינה טל, ייעוץ פדגוגי: פרופ. יהודית דורי,  
הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון, בשיתוף איגוד ערים אזור מפרץ חיפה להגנת הסביבה,  
ייעוץ מדעי ותכני: ד"ר דן גוטליב, מרכז חינוך סביבתי וקיימות, איגוד ערים מפרץ חיפה להגנת  
הסביבה וד"ר דורית באום, מרכזת בכירה לחינוך וקהילה, המשרד להגנת הסביבה- מחוז חיפה  
(ספטמבר 2017)

**פותח במסגרת המרכז הארצי למורי כימיה, מכון וייצמן**

**תשע"ט**

## תוכן עניינים

3	מבוא למורה
6	<b>חלק ראשון – רקע בנושא זיהום אוויר וניטורו</b>
7	בעיית זיהום האוויר במפרץ חיפה
7	פתח דבר
8	זיהום אוויר בערים שונות בעולם
11	זיהום אוויר במפרץ חיפה – מיתוס לעומת מציאות
16	<b>מזהמי אוויר - סוגים, מקורות ונזקים</b>
16	מהו זיהום אוויר?
19	קבוצה א – חלקיקים מזהמים באוויר
22	קבוצה ב - תחמוצות החנקן - $NO_x$
25	קבוצה ג - תחמוצות גופרית - $SO_x$
29	<b>ניטור אוויר - תחנות ניטור וסוגי נתונים</b>
29	מערך האוויר בישראל - מבוא
30	מערך ניטור אוויר ארצי (מנ"א)
33	הכרות עם תחנת ניטור
35	מדד איכות האוויר במפרץ חיפה והסביבה
36	ניתוח מידע מתחנת ניטור
38	<b>חלק שני – הפקת דו"חות מפורטים של מזהמי אוויר</b>
	<b>מתחנות ניטור וחקר הנתונים המתקבלים</b>
39	מידע מתחנות ניטור
40	הפקת דו"ח תחנה – שלב אחרי שלב
44	הפקת דוחות מתחנות ניטור וניתוח השוואתי
48	<b>חלק שלישי – פועלים לצמצום זיהום אוויר במפרץ חיפה</b>
49	התוכנית הלאומית לצמצום זיהום האוויר במפרץ חיפה
50	הנחיות לפעילות מסכמת לפרויקט
52	<b>מקורות</b>

## מבוא למורה

### מטרת הפרויקט

חשיפת התלמידים להכרות עם מידע מהימן אודות סוגיית איכות האוויר בכלל ובמפרץ חיפה במיוחד וביצוע איסוף נתוני איכות אוויר בהתאם למוקד חקר שיבחר ומתן ביטוי יצירתי (באמצעות מצגת) של המידע שנילמד ונחקר. הפרויקט כולל פיתוח מגוון מיומנויות חשיבה המאפשרות הסתכלות ביקורתית ורציונלית, על נושא איכות האוויר בכלל ובמפרץ חיפה בפרט, המבוססת על עובדות ואיתור נתונים הזמינים באתרים הרשמיים הרלוונטיים לנושא (איגוד ערים, המשרד להגנת הסביבה וכדומה).

### מבנה הפרויקט

הפרויקט כולל שלושה שלבים ובסופם מגישים התלמידים תיק פרויקט. מומלץ לבצע את הפרויקט בצוותים של 2-3 תלמידים (בהתאם לגודל הכיתה).

### **חלק ראשון – רקע בנושא זיהום אוויר וניטור. רקע זה כולל:**

- הכרת בעיית זיהום האוויר במפרץ חיפה תוך התייחסות לערים שונות בעולם.
- הכרות עם מזהמי אוויר עיקריים באזור: חלקיקים, תחמוצות חנקן ותחמוצות גפרית – היבט כימי, סביבתי ובריאותי.
- הכרות עם נתוני ניטור אוויר זמינים לציבור הרחב.
- הנושאים השונים בחלק זה משולבים במגוון משימות בהם מודגשים היבטים כימיים, מיומנויות גרפיות וחשיבה ביקורתית. ניתן לבצע חלק זה בכיתה או כחלק מפעילות עצמית בבית.
- בהגשת הפרויקט סופי, מומלץ לבחור מספר משימות מתוך חלק זה ולבקש מהתלמידים לצרף את תשובותיהם לתיק הפרויקט.

### **חלק שני – הפקת דו"חות מפורטים של מזהמי אוויר מתחנות ניטור וחקר הנתונים**

#### **המתקבלים**

חלק זה כולל:

- הכרות עם מידע מתחנת ניטור והפקת דוח מתחנת ניטור.
- הנחיות לחקר ונתונים גרפיים מתחנות ניטור.

מומלץ לאפשר לתלמידים לבצע חלק מהפעילות בחלק זה בכיתה ולהגיש למורה את הממצאים להערכה מעצבת.

## חלק שלישי – פועלים לצמצום זיהום אוויר במפרץ חיפה

חלק זה כולל:

הפנייה לתכנית פעולה ממשלתית לצמצום זיהום האוויר והסיכונים הסביבתיים באזור מפרץ חיפה.

הנחיות להכנת מצגת ומחונן להערכת ביצועי התלמידים.

### הצגות הפרויקט

מומלץ כי התלמידים יציגו את המצגת באירוע סיכום חגיגי, אליו מומלץ להזמין הורים/תלמידי כיתות אחרות ואף נציגים מהקהילה. זה מוסיף עניין, חגיגות וחשיבות לתלמידים. יש לתת כרבע שעה להציג את המצגת בפני הנוכחים ולאפשר שאלות ותשובות מהנוכחים.

### תיק הפרויקט

תיק הפרויקט יכול להיות קבוצתי או אישי לפי בחירת המורה ויכול:

- את התשובות למשימות בחלק הראשון (את היקף המשימות המורה יקבע)
- דוחות ניטור האוויר שהופקו כולל כותרות מתאימות והסברים מלווים לפי ההנחיות בחלק השני

- דפי המצגת שהוכנה

- רפלקציה אישית מסכמת – כל תלמיד מצרף את הרפלקציה האישית שלו, גם אם תיק

הפרויקט הוא אישי. הרפלקציה תתייחס להיבטים הבאים:

- אילו דברים חדשים למדתי במהלך הפרויקט? האם הם מעניינים/חשובים לי? מדוע?
- מה אהבתי/עניין אותי במיוחד ומה פחות אהבתי/התעניינתי בפרויקט? מדוע?
- איך התנהלה עבודת הצוות ומה הייתה תרומתי?
- אם אשתתף בפרויקט דומה, מה הייתי משנה בדרך למידתי/בהשתתפותי?
- האם אמליץ לתלמיד מכיתה אחרת להשתתף בפרויקט? מדוע?

### חשוב!

מומלץ לתת לתלמידים לוח זמנים מפורט לכל חלקי הפרויקט.

לדוגמה: הגשת חלק א - עד תאריך ...

הגשת חלק ב להערכה מעצבת - עד תאריך ...

הגשת חלק ג להערכה מעצבת - עד תאריך ...

הגשה סופית של כל תיק הפרויקט - עד תאריך ...

הצעה למחונן כולל לפרויקט

ציון והערות	מדדי ביצוע			פירוט	קריטריון וחלקו היחסי בציון
	חלש	בינוני	גבוה		
	1-2	3-4	5	התייחסות לכל המשימות הנדרשות	<b>חלק א – תשובות למשימות השונות 15%</b>
	1-5	6-9	8-10	תשובות מפורטות נכונות וברורות	
				לפי פרוט המחונן המתאים	<b>חלק ב – הפקת דו"חות מתחנת הניטור וניתוחם 30%</b>
				לפי פרוט המחונן המתאים	<b>הכנת המצגת 35%</b>
	1-3	4-7	8-10	אירגון מסודר וברור ל כל אחד מהחלקים, כולל עימוד, כותרות, תוכן עיניינים	<b>הגשה אסתטית של תיק הפרויקט 10%</b>
	1-2	3-4	5	התייחסות עיניינית ומנומקת לכל סעיפי הרפלקציה	<b>רפלקציה 5%</b>
	1-2	3-4	5	עמידה בלוח זמנים במהלך הכנת העלון כולל הגשה להערכה מעצבת של המורה וביצוע תיקונים	<b>עמידה בלוח זמנים במהלך כל הפרויקט 5%</b>

---

## חלק ראשון – רקע בנושא זיהום אוויר וניטורו

---



## בעיית זיהום האוויר במפרץ חיפה

### פתח דבר

זיהום אוויר הוא אחד מתחומי הליבה של תחום איכות הסביבה, המייצג את הקונפליקט עליו מבוסס תחום איכות הסביבה: מצד אחד הרצון באיכות חיים חומרית גבוהה יותר הגוררת צריכה מוגברת, ייצור מוגבר ולכן זיהום אוויר מוגבר ומאידך מודעות הולכת וגדלה להשפעות השליליות של זיהום האוויר והרצון לאוויר נקי.

המשרד להגנת הסביבה הוא המשרד המרכזי לתחום זה ותפקידו מתחילים בקביעת מדיניות ותקנים, דרך הסדרה ופיקוח על פליטות מתחבורה, תעשייה, ייצור חשמל ושאר המגזרים, וכלה בניטור איכות האוויר.



צילום: גלעד יוגב, הקואליציה לבריאות הציבור, לקוח מ:  
<http://news.nana10.coil/Article/?ArticleID=1121735>

איכות האוויר במפרץ חיפה היא סוגיה סביבתית משמעותית ומורכבת, הקשורה באיכות חיים ובפרט בבריאות הציבור. נתוני איכות אוויר זמינים באתרי האינטרנט של איגוד ערים והמשרד להגנת הסביבה. אם קיים רקע מדעי מתאים, אזרחים ותלמידים יכולים לבחון נתונים אלו לאורך שנים

ולהשוות אותם לתקני איכות אוויר ולאזורים אחרים בארץ.

למרות השיפור לאורך זמן של איכות האוויר במפרץ חיפה, השיח הציבורי בנושא זה לא יורד מסדר היום. אזרחים ובפרט אזרחים לעתיד – תלמיד ותלמידה בעלי ידע והבנה בנושא ויכולת חשיבה ביקורתית, הם אזרחים בעלי מודעות לזכותם לאוויר נקי ומוכנות לפעילות סביבתית במטרה לחיות באזור נקי מזיהום ומסיכונים בריאותיים.

### אזור מפרץ חיפה נחשב לאחד ממוקדי זיהום האוויר בישראל מכמה סיבות:

- ריכוז גדול של מפעלי תעשייה הגורמים לזיהום אוויר,
- תשתיות ארציות ליבוא, יצוא ואחסון חומרים מסוכנים בכלל ודלק בפרט, בעיקר באזור הנמל והמתחם הפטרוכימי,

- קירבה פיזית לריכוזי אוכלוסייה גבוהים המרוכזים בחיפה, קרית, נשר, טבעון וטירה
  - עומס של כלי רכב הן פרטי והן משאיות,
  - נתוני טופוגרפיה ואקלים המקשים על פיזור מזהמים.
- לאור זאת, קיים מזה מספר עשורים, מערך ניטור מזהמים נרחב במקומות רבים באזור וכן מופקים דוחות סיכום של מצב זיהום האוויר הן על ידי המשרד להגנת הסביבה והן על-ידי איגוד ערים מפרץ חיפה, הנגישים כולם לציבור הרחב.
- עם זאת, נושא הזיהום באזור מטריד מאוד את תושבי המקום והנושא לא יורד מסדר היום הציבורי בארץ. מידע רב ולעיתים סותר מופץ בכלי התקשורת השונים חדשות לבקרים ומותיר את הציבור מבולבל ומבלי יכולת לקבוע מה מידת המהימנות של המידע המופץ ומה משמעותו עבורם.
- סוגיית זיהום האוויר במפרץ חיפה היא חלק ממגמה עולמית של קונפליקטים סביבתיים, כאשר מצד אחד ניצב גידול האוכלוסין והרצון לאיכות חיים חומרית גבוהה יותר, הגוררת ייצור מוגבר, שמביא לזיהום מוגבר, ומצד שני מודעות וידע הולכים וגדלים בנושאים של בריאות ואיכות סביבה הנתפסים גם הם כחלק מאיכות החיים.

## **זיהום אוויר בערים שונות בעולם**

במטרה להעריך את רמות מזהמי האוויר בשלוש הערים הגדולות בישראל: תל-אביב, חיפה וירושלים ביחס לרמות הנמדדות בערים אחרות בעולם, ערך המשרד להגנת הסביבה השוואה של הריכוזים הממוצעים השנתיים של מספר מזהמים בתחנות ניטור נבחרות. מידע זה פורסם בדוח מקיף של איכות האוויר בישראל שפרסם המשרד.

**למורה: מטרת פעילות זו היא להעמיק את המיומנויות של ייצוגי מידע. המיומנויות כוללות:**

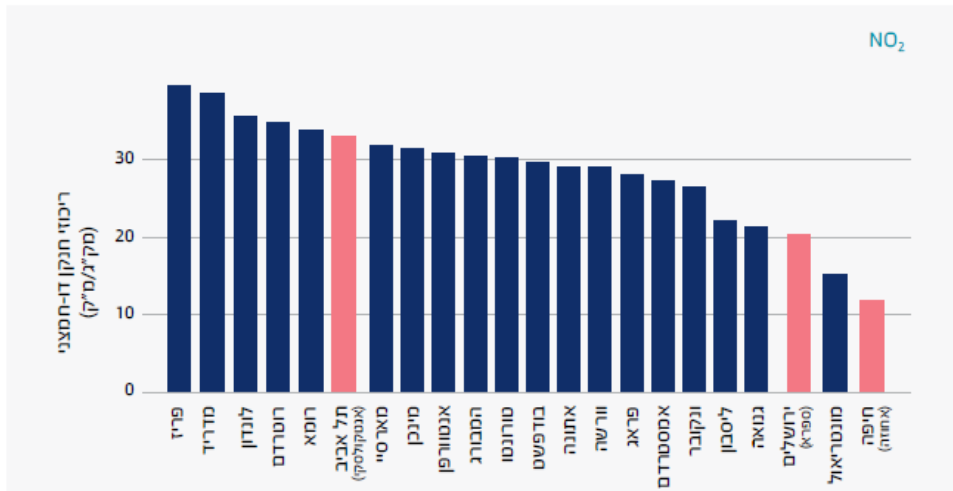
**איתור וניתוח מידע מגרף וטבלה, השוואה, הסקת מסקנות וחשיבה ביקורתית.**



## משימה - מי הן הערים עם רמת הזיהום הגבוהות ביותר?

1. אחד ממזהמי האוויר הנפוצים הנגרמים מתחבורה הוא תחמוצות חנקן ובעיקר התחמוצות חנקן דו-חמצני שסימנה הכימי:  $\text{NO}_2$ . [בדוח משנת 2014](#) (עמ' 60) הוצג הגרף הבא:

איור 4.1 | ריכוזים שנתיים של מזהמי אוויר בתחנות ניטור כלליות (רקע עירוני) בערים נבחרות



א. בהתבסס על הנתונים המוצגים, מי העיר בה פליטת תחמוצת החנקן היא הגבוהה ביותר?  
תשובה: פריז

ב. מהסתכלות על הערים בעולם המוצגות בגרף, מה ניתן ללמוד על ערים אילו מבחינת זיהום ומדוע?

תשובה: הערים הגדולות באירופה: פריז, לונדון, רומא וכדומה מובילות ברמות הזיהום. ניתן להניח כי מכיוון שבהן צפיפות גבוהה של כלי רכב, רמת הזיהום בהן גבוהה. בערים קטנות יותר ופחות צפופות כגון: פראג, ליסבון, גנואה - רמה הזיהום נמוכה יותר. אפשרות נוספת היא שבערים בהן רמת הזיהום נמוכה יש מדיניות מחמירה יור לגבי בקרת זיהום אוויר מותרת.

ג. מבין שלש הערים בישראל, מי העיר בה פליטת תחמוצת החנקן היא הגבוהה ביותר? כיצד תסבירו את ההבדל המשמעותי בין עיר זו לשתיים האחרות בישראל?  
תשובה: יש להניח כי בתל-אביב הצפיפות הרבה ביותר של כלי רכב בארץ, ומכיוון שחנקן דו-חמצני מייצג מזהם הנפלט מכלי רכב יש הבדל משמעותי בריכוזו בין תל-אביב לבין חיפה וירושלים.

ד. בהתייחס לרמות מזהם זה בשלש הערים בישראל, האם תוכלו להסיק כי רמת התחלואה מזהום אוויר גבוהה יותר בעיר המזוהמת מבין השלש? נמקו.

תשובה: לא ניתן להסיק זאת מהגרף! הקשר בין זיהום אוויר לתחלואה הינו מורכב ובוודאי קשור בגורמים רבים ובמזהמים שונים וללא מחקר מבוקר לא ניתן לקבוע זאת.

1ה. האם ניתן להסיק מהגרף כי חיפה איננה עיר מוכת זיהום אוויר כפי שיש כאלו הטוענים לכך?

תשובה: לא ניתן להסיק זאת מהגרף! הנתונים הם רק עבור מזהם אחד הנמדד בתחנות ניטור כלליות (עירוניות).

1. האם תוכלו לשער באלו מהערים הזיהום גבוה מהמותר?

תשובה: אין דרך לדעת זאת מהגרף. הגרף מציג נתונים יחסיים בלבד. יש צורך לדעת מה הריכוז המהווה את הסף המותר מבחינת סכנה בריאותית. ללא נתון זה אין דרך לדעת האם ריכוז המזהם חורג מהמותר.

2. מזהם אוויר נוסף הוא חלקיקים נשימים. בטבלה הבאה מרוכזים נתונים של חלקיקים נשימים קטנים<sup>1</sup> עבור מגוון ערים בעולם. הנתונים מתייחסים לריכוזים שנתיים ממוצעים (לשנת 2012) (מקור [דוח איכות אוויר – המשרד להגנת הסביבה -שנת 2014, עמ' 64](#)).

מדינה	עיר	חלקיקים נשימים קטנים (מק"ג/מ"ק)*
ישראל	תל אביב	20
ישראל	חיפה	15
גרמניה	מינכן	12.65
איטליה	רומא	18.14
איטליה	מילאנו	29.52
בריטניה	לונדון	11.17
צרפת	פריז	16.36
הולנד	אמסטרדם	15.14
ספרד	מדריד	12.52
צ'כיה	פראג	17.01
קנדה	טורונטו	7

<sup>1</sup> נהוג לסמן חלקיקים קטנים בסימון: PM2.5. על משמעות סימון זה נרחיב בפרק של מזהמי אוויר

\* הערה: יחידות המידה מתייחסות לריכוזי החלקיקים באוויר ביחידות של מיקרוגרם חלקיק בנפח של מטר מעוקב אוויר.

א. באיזו עיר ריכוז החלקיקים הנשימים היא הגבוהה ביותר ובאיזו עיר היא הנמוכה ביותר? תשובה: בטורונטו ריכוז נמוך של (  $7 \text{ מק"ג/מ"ק}$  ) ובמילנו באיטליה ריכוז הגבוה ביותר, פי 4 ומעלה (29.52).

למורה: מומלץ גם לבקש מהתלמידים להכין גרף של נתונים הטבלה באמצעות תוכנת Excel בהתאם לרמ התלמידים.

ב. מלבד שתי ערים חריגות בעלות ריכוז גבוה במיוחד וריכוז נמוך במיוחד, היכן ממוקמת ישראל מבחינת מזהם זה ביחס לערים אחרות בעולם? תשובה: בישראל ערכים גבוהים יחסית משאר הערים לגביהן יש מידע בטבלה אך בהפרשים לא גדולים.

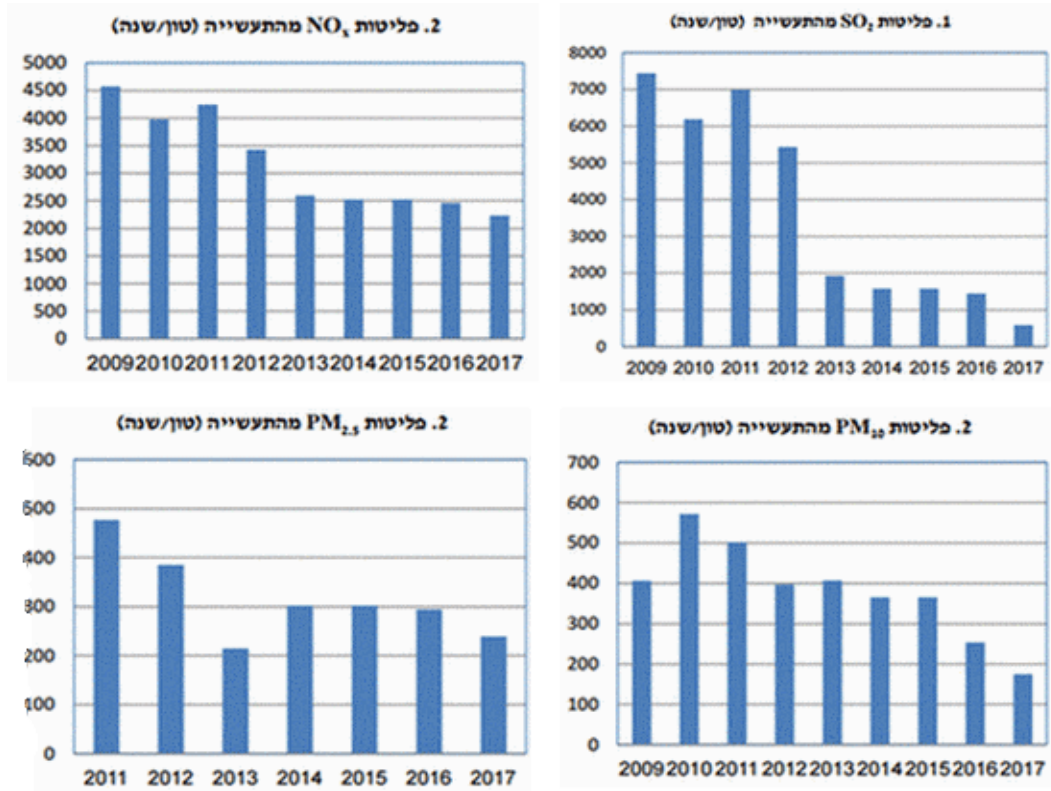
ג. מה תוכלו להסיק מטבלה זו לגבי מצב זיהום האוויר בערים תל-אביב וחיפה? תשובה: מהטבלה אפשר רק להסיק על מצב יחסי של תל-אביב ושל חיפה לעומת ערים אחרות בהקשר למזהם זה בלבד. אין להסיק דבר לגבי מצב זיהום כללי ולא האם ערכים אלו חורגים מהתקן המותר.

## **זיהום אוויר במפרץ חיפה – מיתוס לעומת מציאות**

המקורות המרכזיים לזיהום אוויר במפרץ חיפה הם תעשייה ותחבורה. המשרד להגנת הסביבה הציג נתונים עדכניים לפיהם זיהום האוויר מתעשייה במפרץ חיפה פחת משמעותית בשנים האחרונות, גם כתוצאה מיישום חוקים ותקנות המחייבים יישום של הפתרונות המוכחים המתקדמים ביותר בעולם לצמצום זיהום האוויר, אך גם כתוצאה מהמעבר לגז טבעי. בדו"ח מפורט של המשרד להגנ"ס לעניין זה, ניתן לראות ירידה משמעותית במרבית המזהמים העיקריים הן מתעשייה והן מתחבורה. יש לזכור שהתעשייה אינה הגורם הבלעדי האחראי על זיהום האוויר במפרץ חיפה, גם לתחבורה יש תרומה מהותית לזיהום האוויר באזור בדומה לערים הגדולות האחרות בישראל.

## משימה – ניתוח נתוני זיהום אוויר במפרץ חיפה

לפניכם, ארבעה גרפים של מזהמים עיקריים מתעשייה באזור מפרץ חיפה המתארים את סך הפליטות שלהם בשנים האחרונות.



1. מהי המגמה המסתמנת בכל הגרפים לגבי היקף פליטת המזהמים העיקריים מתעשייה בשנים האחרונות באזור מפרץ חיפה?  
תשובה: יש מגמה ברורה של ירידה בפלטה של כל המזהמים

2. השלימו את הטבלה הבאה בהתאם לגרפים:

אחוז השינוי	מידת השינוי (טון לשנה)	ערך הפליטה** בשנת 2017 (טון לשנה)	ערך הפליטה** בשנת 2011 (טון לשנה)	המזהם* המוצג בגרף
				גפרית דו-חמצנית SO <sub>2</sub>
				תחמוצות חנקן NO <sub>x</sub>
				חלקיקים

אחוז השינוי	מידת השינוי (טון לשנה)	ערך הפליטה** בשנת 2017 (טון לשנה)	ערך הפליטה** בשנת 2011 (טון לשנה)	המזהם* המוצג בגרף
				PM10
				חלקיקים PM2.5

\* פרוט על משמעות מזהמים אלו תלמדו בחלק הבא המתמקד במזהמי אוויר

\*\* ערכים מקורבים בהתאם לדיוק בגרפים

תשובה:

אחוז השינוי	מידת השינוי (טון לשנה)	ערך הפליטה בשנת 2017 (טון לשנה)	ערך הפליטה בשנת 2011 (טון לשנה)	המזהם* המוצג בגרף
93%	6500	~ 500	7000	גפרית דו- חמצנית SO <sub>2</sub>
48%	2000	~ 2200	~ 4200	תחמוצות חנקן NO <sub>x</sub>
62%	310	~ 190	500	חלקיקים PM10
50%	240	~ 240	~ 480	חלקיקים PM2.5

הסעיפים הבאים מתייחסים לטבלה:

3. לאיזה מזהם/ים הפליטה הגבוהה ביותר (בטון לשנה) מתעשייה ולאיזה הפליטה הנמוכה ביותר? מה משמעות הדבר לדעתכם?

תשובה: מידת הפליטה של גפרית דו-חמצנית היא הגבוהה ביותר ואחריה תחמוצות חנקן. המשמעות היא שאלו הגורמים העיקריים לזיהום אוויר מתעשייה וניתן לראות זאת גם לפי ארבעת הגרפים המוצגים.

4. ניתן לראות כי מידת השינוי בטון לשנה הייתה שונה בין המזהמים השונים. למי הייתה הירידה המשמעותית ביותר? העלו השערה כללית לסיבה לכך.

תשובה: הירידה המשמעותית ביותר הייתה ב גפרית דו חמצנית. ניתן לשער כי נערך שינוי משמעותי בגורם לפליטת מזהם זה .

5 . תחמוצות גפרית נפלטות בעיקר משריפת דלק פוסילי (נפט , פחם) בתחנות כוח . בהתייחס לירידה בפליטת תחמוצות אל<sup>ו</sup>, מה תוכלו להסיק לגבי השימוש בדלקים בתעשייה במפרץ חיפה ?

תשובה : הירידה מעידה על הפחתה משמעותית בשימוש בדלקים אלו והסיבה היא מעבר לשימוש בגז בתחנת הכוח בחיפה .

6 . האם העובדה שהיקף הפליטה של חלקיקים קטן משמעותית לעומת היקפי הפליטה של תחמוצות גפרית וחנקן יכולה להעיד על סכנה פחותה ממזהמים אלו ? נמקד .  
תשובה: היקף פליטה קטן יותר לא מעיד על מידת הנזק מהמזהם. יש מזהמים שהסכנה הבריאותית שלהם גדולה ולכן גם היקפי פליטה נמוכים מהווים סכנה משמעותית . לכן אין להסיק מכך דבר לגבי היקפי הסכנה הבריאות מהם .

7. למרות העובדות העולות מתוך הגרפים לפיהן יש ירידה בהיקפי זיהום האוויר מתעשייה , השיח הציבורי לגבי הזיהום המפרץ חיפה מתמקד בתעשייה כגורם המשמעותי ביותר לבריאות הציבור . מה דעתכם בעניין זה בעקבות העובדות שניתחתם ומדוע לדעתכם זו הדיעה הרווחת בציבור ?

למורה: שאלה זו מהווה סיכום לפרק הפתיחה וממנה עולה כי ההתמקדות בתעשייה כגורם העיקרי לזיהום האוויר במפרץ חיפה איננה נכונה . לתחבורה תפקיד משמעותי לא פחות בזיהום האזור – דבר אשר כמובן ולא מפחית את הבעייתיות. כדאי לכוון את הדיון להיבטים השונים הנובעים מתפיסה לא מדויקת זו לגבי התעשייה – מצד אחד , מפעלי תעשייה הם גורמים אשר ניתן לאכוף עליהם את האחריות לזיהום ולחייבם להקטינו ומצד שני בכלי רכב כולנו משתמשים ואין כתובת ברורה לאכיפה . היבט נוסף קשור במזהמים הנפלטים מתעשיות שונות המהווים סכנה בריאותית אך הם לא מנוטרים ואין עליהם מידע מספיק . מקור טוב להעמקה ולקבלת תתמונת מצב עדכנית היא באתר המשרד להגנת הסביבה בהקשר לבדיקות זיהום אוויר במפרץ חיפה בקישור . מומלץ לעורר דיון בקרב התלמידים ולעודדם להעלות היבטים שונים .

מומלץ לעודד את התלמידים גם להעלות שאלות אשר אין להם תשובה הן לגבי המזהמים  
השונים והן לגבי דרכי אכיפה , פתרונות אפשריים וכדומה . את השאלות כדאי לרכז על הלוח  
ובהמשך לתת תשובה לחלק משאלות אלו בהתאם לנלמד בפרקים הבאים .

## מזהמי אוויר - סוגים, מקורות ונזקים

### מהו זיהום אוויר?

אוויר נקי הוא למעשה מושג תיאורטי בלבד. זהו אוויר שהרכבו מתאים למצב שבו לא היו בני אדם על פני כדור הארץ. האוויר במדבריות, בקטבים ובימות מרוחקות נחשב כקרוב ביותר לאוויר נקי ובלתי מזוהם.

כאשר האוויר מכיל תוספות מלאכותיות למרכיביו הרגילים, בכמויות העלולות לגרום נזקים או מטרדים לאדם, לחי ולצומח, הוא נחשב לאוויר מזוהם.

מזהמי האוויר מופיעים כחלקיקים מוצקים, כטיפות, כגזים או כתערובות של צורות אילו.

לפי ארגון הבריאות העולמי, זיהום אוויר הוא גורם סיכון משמעותי במספר בעיות בריאות הכוללות: שבץ מוחי, מחלות לב, סרטן ריאות ומחלות נשימה מדבקות כמו דלקת ראות ושחפת. כשבעה מיליון אנשים מתים ברחבי העולם עקב בעיות זיהום אוויר (ביתי וסביבתי).

זיהום אוויר סביבתי גורם למוות מוקדם של 3.7 מיליון בני אדם בשנה. חוקרים בכל העולם בוחנים קשרים בין סוגים שונים של זיהום אוויר לבין בעיות בריאות נוספות כגון: פגיעה בעוברים ובלידים, היפראקטיביות, הזדקנות תאים ועוד. ההשפעות של זיהום אוויר הן מרחיקות לכת ובעיקר משפיעות על מערכת הנשימה ועל מערכת הלב וכלי הדם. התגובה של כל אדם למזהמי אוויר תלויה בסוג המזהם שאליו חשוף האדם, רמת החשיפה, סטטוס הבריאות של האדם והגנטיקה שלו.

התפלגות הסיכון מזיהום אוויר שונה בין מדינות. במדינות עניות עיקר הסיכון הוא מזיהום אוויר ביתי מתנורים. במדינות מתפתחות סיכון זה עדיין קיים ומתווסף לו זיהום אוויר חמור מתחבורה ותעשייה שמתפתחים במהירות. במדינות עשירות הזיהום הביתי פחות חמור אך עדיין קיימת בעיות של זיהום תעשייתי וזיהום אוויר מתחבורה.

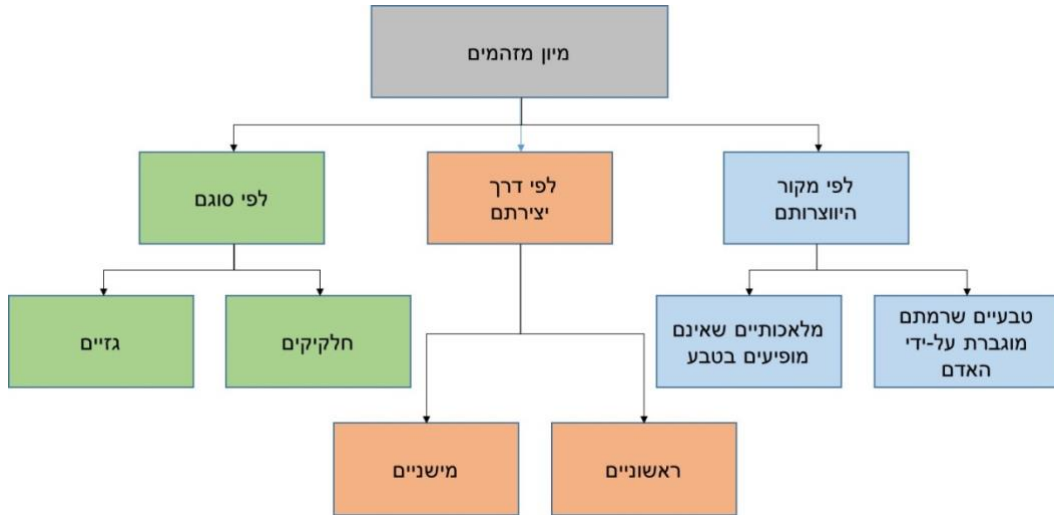
### משימה – מיון מזהמים

1. בכל יום ובכל שעה, כמויות עצומות של חומרים נפלטים לאוויר. מה המשמעות לגבי הרכב האוויר? האוויר הינו תערובת של גזים הכוללת בעיקר שני מרכיבים: חנקן המהווה כ- 78% מנפח האוויר וחמצן המהווה כ- 21% מנפח האוויר. האחוז הנותר כולל מגוון חומרים כגון: פחמן דו-חמצני, אדי מים, תחמוצות חנקן ועוד, אשר חלקם נחשבים כמזהמי אוויר. האם ואם כן, מה ניתן להסיק מכך לגבי מידת המסוכנות של מזהמי האוויר השונים? נמקו.



תשובה: אחוז החומרים המזהמים קטן משמעותית מחנקן וחמצן המהווים את מרכיבי האוויר העיקריים. מכאן ניתן להסיק שכבר בריכוזים קטנים ביותר, חומרים מזהמים עלולים לפגוע בבריאות ולהוות סכנה.

2. באיור הבא מוצגות שלוש דרכים עיקריות למיון מזהמים באוויר:



א. מיון לפי מקור היווצרות המזהמים מתייחס למזהמים טבעיים שרמתם מוגברת על-ידי האדם – לדוגמה: פחמן דו-חמצני ( $CO_2$ ) המופיע בטבע אך כמותו גדלה עקב פעילות האדם (בשרפת דלקים), דו-תחמוצת הגופרית ( $SO_2$ ) ומתכות כבדות כגון: כספית, עופרת ועוד.

לעומתם, מזהמים מלאכותיים שאינם מופיעים בטבע כוללים חומרים שהאדם יצר באמצעות הפיתוח הטכנולוגי והידע המדעי העומדים לרשותו.

חומרים מלאכותיים אלו אינם עוברים תהליכי פרוק בטבע, הם מצטברים והופכים למזהמים (או שהם מתפרקים ותוצרי הפרוק רעילים ומזהמים). דוגמאות לחומרים אילו הם: חומרי הדברה, דטרגנטים, תרכובות אורגניות שונות, מוצרי פלסטיק.

לפניכם מגוון מקורות טבעיים ומלאכותיים לפליטת חומרים לאוויר. מיינו אותם למקורות טבעיים ומקורות מלאכותיים.

הרי געש, שריפות יער, שריפת דלק פוסילי, כלי רכב ממונעים, ייצור חשמל, סופות אבק, אוקינוסים, עצים וצמחים, אגמים מלוחים וגייזרים, תעשייה, צריכה אישית, פסולת תעשייתית

וביתית

תשובה:

מקורות טבעיים : הרי געש , שריפות יער , סופות אבק , אוקינוסים , עצים וצמחים , אגמים  
מלוחים וגיזרים

מקורות מלאכותיים : שריפת דלק פוסילי , כלי רכב ממונעים , ייצור חשמל , תעשייה , צריכה  
אישית , פסולת תעשייתית וביתית

2. ב. מיון לפי דרך יצירת המזהמים מתייחס למזהמים ראשוניים שהם חומרים הנפלטים ישירות  
לאטמוספירה ממקורות מעשה ידי אדם , כגון : שריפת דלק לסוגיו ותהליכי ייצור תעשייתיים .  
בתהליך שריפת דלק נפלטים לאוויר חנקן חד חמצני (NO ; גופרית דו-חמצנית) (SO<sub>2</sub> ; פחמן  
חד-חמצני) (CO ; פחמן דו-חמצני) (CO<sub>2</sub> .

המזהמים המשניים נוצרים כתוצאה מתגובות בין המזהמים הראשוניים עם או בלי השפעת  
קרינת השמש . תהליכים אילו מושפעים מפיזור חלקיקים באוויר , מטופוגרפיה מקומית , מלחות  
יחסית , מתנאים אקלימיים מסוימים ועוד . דוגמה למזהם משני הינו אוזון .

מה תוכלו להסיק מכך לגבי הדרכים למנוע או להקטין את היווצרות המזהמים המשניים ?

**תשובה : ככל שנקטין את פליטת המזהמים הראשוניים לאוויר , תיקטן כמות המזהמים**

**המישניים הנוצרים מהמזהמים הראשוניים .**

2.ג. מיון לפי סוג החלקיקים המזהמים מתייחס למזהמים מוצקים (חלקיקי אבק ועשן) ומזהמים  
גזיים הכוללים בעיקר תרכובות חנקן - מסומנות באופן כללי כ-NO<sub>x</sub> , ותרכובות גפרית -  
מסומנות באופן כללי כ-SO<sub>x</sub> . הרחבה למיון זה מוצגת בסעיפים הבאים .

למורה : הפעילויות הבאות מכילות מידע ומשימות לגבי מזהמים עיקריים באוויר : חלקיקיים  
וגזיים : תחמוצות חנקן ותחמוצות גפרית . מומלץ לחלק את התלמידים לקבוצות בדרך הבאה :

קבוצה א - קבוצת החלקיקים המזהמים

קבוצה ב - קבוצת תחמוצות החנקן

קבוצה ג - קבוצת תחמוצות הגפרית.

**מומלץ לפתוח מצגת משותפת בגוגל וכל קבוצה תכין 4-6 שקפים על סוג המזהם אותו היא**

**למדה. כל קבוצה תקבל את המידע הרלוונטי למזהם שלה (ללא התשובות כמובן).**

## קבוצה א - חלקיקים מזהמים באוויר

חלקיקים מזהמים באוויר הם תערובת של מוצקים ונוזלים בעלי תכונות שונות וגדלים שונים, מחלקיקי פיח ועד חומרים אורגניים ומתכות כבדות. מקורם של חלקיקים אלו הוא בתהליכים המתרחשים בטבע ובפעולות מעשה ידי אדם.

מקורות טבעיים כוללים: אבק נישא ברוח, שריפת יערות, רסיסי מי-ים, אבקנים הנישאים באוויר וחומר הנפלט מהרי געש.

מקורות מעשה ידי אדם כוללים: פעולות שונות של עיבוד חומר גלם כגון גריסה, טחינה והתזה. שריפת דלקים הגורמים לחלקיקים הנפלטים מארובות מפעלי תעשייה ותחנות כוח, וכן מצינורות פליטה של כלי רכב (בעיקר כלי רכב בעלי מנוע דיזל), עישון, וחימום ביתי (בעיקר חימום בעץ ובמידה פחותה בסולר).

החלקיקים נפוצים באוויר בכל ישראל, ומופיעים בריכוז גבוה במיוחד בימי סופות אבק (כ-18 ימים בשנה) ובאזורים בעלי עומס תחבורה גדול.

גודל החלקיקים הוא תכונתם החשובה ביותר. גודלם קובע :

א. את משך שהותם באוויר - ככל שהם קטנים יותר הם שוהים זמן רב יותר באוויר.  
ב. את מידת פיזורם מהמקור ממנו נפלטו - ככל שהם קטנים יותר, טווח פיזורם באוויר גדול יותר.

ג. את מידת חדירותם לדרכי הנשימה של אורגניזמים חיים - ובהתאם את מידת הנזק שהם גורמים - ככל שהם קטנים יותר הם חדירים יותר לדרכי הנשימה.

מקובל למיין את החלקיקים לשני גדלים עיקריים:

PM10 - חלקיקים הקטנים מקוטר של עשרה מיקרומטר (מיקרומטר = מיליונית המטר או אלפית המילימטר, כמאית מקוטר שיערה אנושית). כאשר נושמים אותם הם נעצרים לרוב בדרכי הנשימה העליונות באף או בגרון.

PM2.5 - חלקיקים הקטנים מקוטר של שניים וחצי מיקרומטר. להשוואה, קוטר שיערת ראש של אדם הוא בערך עשירית מילימטר שהם 100 מיקרומטר. כאשר נושמים אותם הם מסוגלים לחדור לעומק דרכי הנשימה ולריאות.

## משימה – פליטת חלקיקים לאוויר

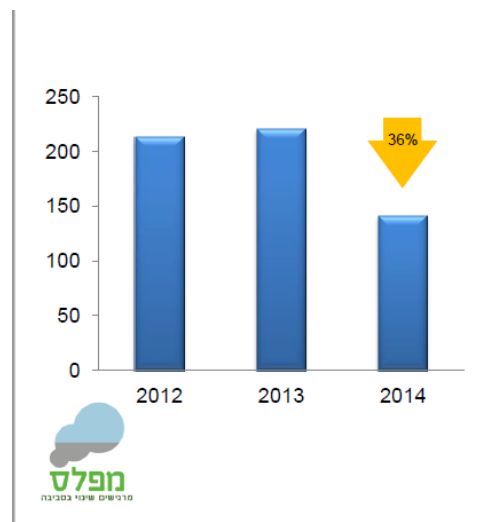
1. הערכים המותרים בארץ (לפי חוק אוויר נקי) של חלקיקים מסוג PM2.5 קטנים משמעותית

מהערכים המותרים עבור חלקיקים מסוג PM10. מה לדעתכם הסיבה לכך?

תשובה: הסיבה היא ההשפעה הבריאותית של החשיפה. ככל שהחלקיק קטן יותר, הוא יחדור עמוק יותר למערכת הנשימה, יעבור לדם ואף יוכל להגיע למוח. החלקיקים הקטנים עלולים גם להכיל מתכות ולספוח תרכובות אורגניות מסרטנות. לכן הסכנה הבריאותית מחלקיקים קטנים גדולה יותר וכמותם המותרת קטנה יותר.

2. הגרף הבא<sup>2</sup> מציג פליטת חלקיקי PM10 (טונות/שנה) ממפעל נשר ברמלה בשנים

2012-2014



2א. מה תוכלו להסיק מהגרף לגבי פליטת חלקיקים ממפעל נשר במהלך 3 השנים 2012-

2014?

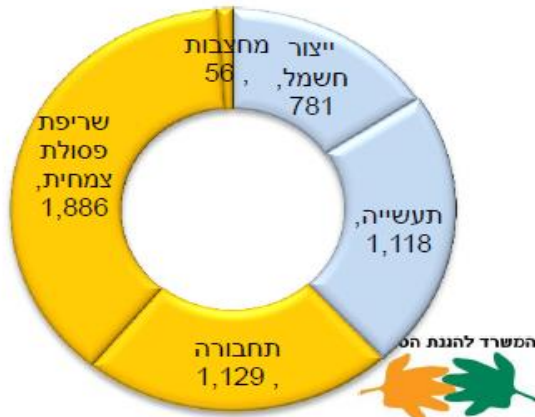
תשובה: בין השנים 2012 ו-2013 אין הבדל משמעותי בערכים. ב-2014 יש ירידה משמעותית של 36% בכמות החלקיקים.

2ב. מה לדעתכם יכולה להיות הסיבה לממצאים המוצגים בגרף?

תשובה: סביר כי מפעל נשר רמלה ביצע פעולות שונות לייעול מתקני הפחתת פליטות החלקיקים. חלקן בתחום המכני, חלקן בתחום החשמלי, וחלקן באופן ההפעלה והבקרה. פעולות אלה הביאו להפחתה של 36% בפליטות החלקיקים.

<sup>2</sup> לקוח מ: [אתר המשרד להגנת הסביבה – מרשם הפליטות לסביבה – מפלט, דיווח 2015](#)

3. בגרף הבא מתוארת על ידי המשרד להגנת הסביבה, הפריסה של פליטת חלקיקי PM2.5 על פי גורמים מזהמים שונים בשנת 2014 בארץ. הנתונים הם ביחידות טון לשנה.



(בצבע תכלת מוצגים נתונים מדיווח מפעלים. בצבע צהוב מוצגים נתונים מתוך חישובי מצאי של המשרד להגנת הסביבה).

3א. מהו הגורם המזהם ביותר, כלומר מביא לפליטה של כמות החלקיקים הגדולה ביותר בשנה?

תשובה: הגורם המזהם ביותר על פי גרף 2 הינו שריפת פסולת צמחית.

3ב. מחצבות מייצרות כמויות גדולות של אבק וחלקיקים. עם זאת, חלקם כמקור לזיהום של חלקיקים PM2.5 הוא הקטן ביותר. מה הסיבה לדעתכם? תשובה: יתכן שמחצבות ניפלטים בעיקר חלקיקים גדולים יותר ולכן אין לכך ביטוי בגרף. כמו כן, כמות המחצבות בארץ קטנה ולכן למרות שהן גורם מזהם מאוד, חלקן היחסי בכלל מקורות הזיהום קטן.

4. היכנסו [לקישור](#) הכולל מידע של המשרד להגנת הסביבה לגבי זיהום אוויר מחלקיקים וציינו מה הסיכון הבריאותי של זיהום מחלקיקים ומה ההמלצות בנושא.

## קבוצה ב - תחמוצות החנקן - $NO_x$

תחמוצות חנקן הן משפחה של תרכובות גזיות ביניהן הגז חנקן חד-חמצני שנוסחתו הכימית: NO וחנקן דו-חמצני שנוסחתו הכימית היא:  $NO_2$ . אלו הן תחמוצות הנפלטות לאוויר בתהליכי שריפת דלקים בעיקר מתחבורה. תרכובות אלו נדגמות יחד באוויר ומסמנים אותן בצורה כללית על-ידי הנוסחה:  $NO_x$ .

תחמוצות חנקן נפלטות לסביבה כאשר גז החנקן, הנמצא באופן טבעי באוויר, מגיב עם החמצן שבאוויר בתהליך חימצון. תרכובות אלו נוצרות מכל תהליך שריפה בטמפרטורות גבוהות שמעורב בו אוויר, כמו מצינורות הפליטה של כלי רכב, מארובות של תהליכי שריפה תעשייתיים, מארובות של תחנות כוח ועוד, אך גם בטבע בעת היווצרות הברק (שהוא מקור טבעי לאנרגיה גבוהה).

החנקן החד-חמצני (NO) ממשיך להגיב עם החמצן, ויוצר את התחמוצת  $NO_2$  (חנקן דו-חמצני) חנקן חד חמצני (NO) הוא גז חסר צבע וריח, אינו מסיס במים, ויחסית למזהמים אחרים הוא אינו מזיק. חנקן דו-חמצני הוא גז בעל צבע חום-אדמדם וריח חריף; הוא מסיס במים ורעיל. כאשר נושמים אותו, הוא מתמוסס במהירות בנאדיות הריאות, ויוצר חומצות בדופן הרירית של הריאה.  $NO_2$  בריכוזים גבוהים יכול לחדור למערכת הדם ולהתחבר להמוגלובין, וכך למנוע אספקת חמצן סדירה לגוף.

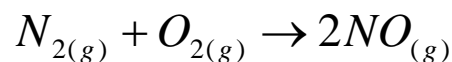
תחמוצות החנקן ( $NO_x$ ) גורמות להיווצרות הערפיח הפוטוכימי וכן לדהיית בדים, לפגיעה ביבול ובמבנים, ובמקומות אחדים הן גם גורמות ליצירת גשם חומצי.

### משימה – פליטת תחמוצות חנקן לאוויר

1.א. רשמו את התגובה להיווצרות הגז NO מתגובה בין הגז חנקן  $N_2$  לגז חמצן  $O_2$ .

תשובה:

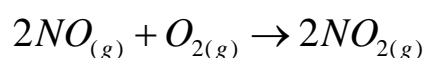
הגז NO נוצר בתגובה הבאה:



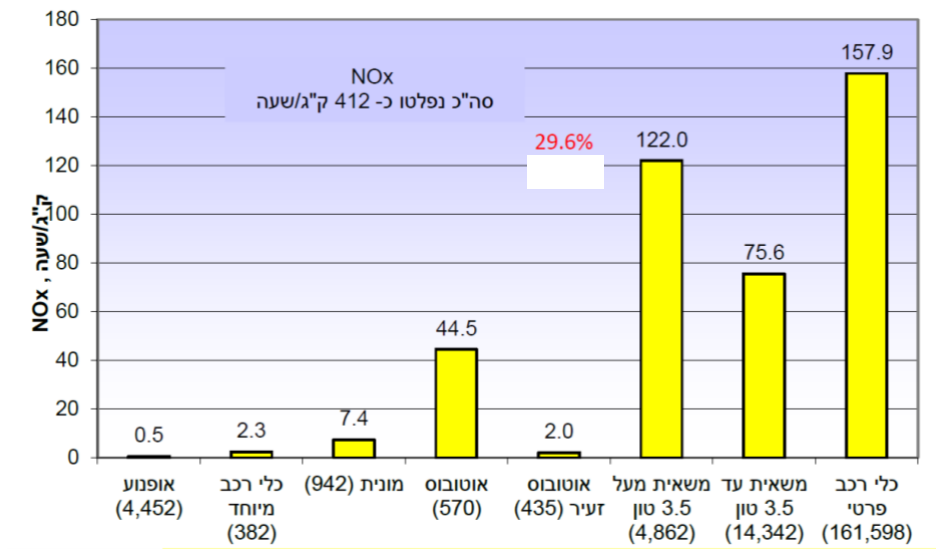
1.ב. החנקן החד-חמצני (NO) ממשיך להגיב עם החמצן, רשמו את התגובה.

תשובה:

הגז NO ממשיך להגיב לפי ניסוח הבא:



בגרף הבא מוצגים נתוני פליטת NO<sub>2</sub> באזור חיפה בשנת 2014 (ק"ג/שעה) על פי סוגי כלי הרכב השונים (על פי נתוני איגוד ערים מיפרץ חיפה).



2. לפי הגרף, מהו סוג כלי הרכב הגורם לזיהום הגבוה ביותר של תחמוצות חנקן? האם משמעות הדבר כי סוג זה של כלי רכב הוא גורם בעל יכולת מזהמת הגדולה ביותר? נמקו. תשובה: לפי הגרף כמות הפליטה הגבוהה ביותר היא של כלי רכב פרטיים. אין משמעות הדבר בהכרח כי כלי רכב פרטי הינו מזהם יותר מהאחרים מכיוון שאין נתונים על כמות כלי הרכב הפרטיים. יש להניח כי כמותם היא הרבה ביותר מבין כל סוגי כלי הרכב ולכן כמות תחמוצות החנקן שהם מייצרים היא הרבה ביותר.

3. בהתייחס לגרף, 29.6% מכמות הפליטות של תחמוצות החנקן, הינן ממשאיות מעל 3.5 טון, שחלקן היחסי הוא רק כ- 2.6% מכלל כלי הרכב הרשומים בשטח איגוד ערים מיפרץ חיפה. הסבירו את משמעות הדבר. תשובה: המשמעות היא שמשאיות אלו הן גורם מזהם מאוד ולמרות שכמות המשאיות יחסית לכלי רכב פרטיים לדוגמה, נמוכה בהרבה, כמות הזיהום שהן מייצרות גבוהה מאוד.

4. להלן מספר פתרונות אפשריים להפחתת פליטת NO<sub>x</sub> מכלי רכב:  
1. שימוש בגפ"מ (ראשי התיבות של גז פחמימיני מעובה). גפ"מ מוכר יותר בשמו העממי גז בישול, והוא מורכב מתערובת של הגזים בוטאן C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> ופרופאן C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>. הגפ"מ מיוצר בדרך כלל כתוצר לוואי של תעשיית זיקוק הנפט או עיבוד הגז הטבעי. לשימוש בגפ"מ כדלק

חלופי לתחבורה יש עתיד מבטיח בשל היותו זול, זמין ובעל פליטת מזהמים נמוכה. בעולם יש כבר יותר ממיליון כלי רכב, המונעים בגפ"מ (בעיקר באיטליה). כאשר נעשה שימוש בגפ"מ במנועי שריפה פנימית, במקום סולר או בנזין, נפליטים פחות מזהמים כמו פחמן חד-חמצני, תחמוצות חנקן, חלקיקים ופחמימנים. רכב המונע באמצעות גפ"מ הוא שקט יותר מרכב, המונע בדיזל.

II. כלי רכב היברידיים - כלי הרכב ההיברידיים מונעים בשני מקורות אנרגיה: מקור חשמלי ומקור של שרפה פנימית. ישנם סוגים שונים של רכבים היברידיים: רכבים שבהם משתמשים בשני מקורות האנרגיה - בכל אחד בנפרד או בשניהם יחד, ורכבים בהם מקור האנרגיה העיקרי הוא חשמלי. אחד היתרונות הבולטים בשימוש בכלי רכב היברידיים היא פליטת מזהמים קטנה פי שליש עד פי חצי מכמות המזהמים הנפלטת מכלי רכב המונע באמצעות בנזין בלבד.

III. ממיר קטליטי המותקן בכלי רכב - ממיר קטליטי הוא חלק צינורי במערכת הפליטה של כלי רכב, המהווה מקום לתגובה כימית שבה שאריות פחמימניות מתהליך הבעירה במנוע נשרפות עד תום, על מנת להקטין את זיהום האוויר. רכב עם ממיר קטליטי מזהם עד פי 10 פחות בהשוואה לרכב ללא ממיר קטליטי. תחמוצות NO<sub>x</sub> הנוצרות במנוע כתוצאה מתגובת החנקן באוויר עם חמצן במנוע בטמפרטורה הגבוהה של המנוע, מומרות בחזרה לגז חנקן N<sub>2</sub> המהווה כ- 79% מתערובת האוויר, כלומר, גז שאינו מהווה סכנה בריאותית.

הכינו טבלה של יתרונות לכל אחד מהפתרונות המוצעים.

תשובה:

יתרונות	הפתרון המוצע
זול לייצור, חומרי הגלם זמינים בעל פליטת מזהמים נמוכה. שקט	לשימוש בגפ"מ כדלק חלופי
יש ניסיון מוצלח בעולם לשימוש בכלי רכב המונעים בגפ"מ	
פליטת מזהמים נמוכה בהרבה מכלי רכב המונעים בבנזין	כלי רכב היברידיים
הקטנה זיהום האוויר בצורה ניכרת	ממיר קטליטי המותקן בכלי רכב

5. מהם הנזקים הבריאותיים הנגרמים לאוכלוסייה כתוצאה מחשיפה לתרכובות NO<sub>x</sub>? היכנסו לקישור של המשרד להגנת הסביבה וסכמו את הסכנה הבריאותית והמלצות לציבור.



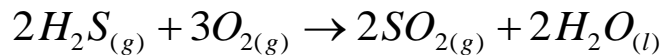
## קבוצה ג - תחמוצות גופרית - $SO_x$

תחמוצות גופרית הינן קבוצה של תרכובות גזיות המכילות גופרית וחמצן. התחמוצת הנפוצה ביותר היא התרכובת גופרית דו-חמצנית שנוסחתה:  $SO_2$  ובמידה פחותה, התרכובות גופרית תלת חמצנית שנוסחתה:  $SO_3$ . נהוג להתייחס לשתי תרכובות אילו בצורה כללית כ:  $SO_x$ . המקור העיקרי של גפרית דו-חמצנית באוויר (80%) הוא פליטה ממקורות טבעיים. חלק מהגפרית הדו-חמצנית הנפלטת לאטמוספירה, מגיעה לאוקיינוסים ומתמוססת במימיהם. חלקה נקלט על-ידי הצמחים ומשתתפת במחזור הביו-גאוכימי של הגפרית, חלקה חוזר לקרקע בגשמים כחומצה או כמלח אמון גפרתי וחלק אחר שוקע מהאוויר תוך 5-14 שעות מעת פליטתו.

### משימה – היווצרות גפרית דו-חמצנית

מימן גפרי גזי ( $H_2S$ ), הנוצר בהתפרצויות הרי געש ובריקבון של חומרים אורגניים, מתחמצן בנוכחות החמצן שבאוויר ויוצר את הגפרית הדו-חמצנית.  
1. נסחו את התגובה לקבלת גופרית דו-חמצנית.

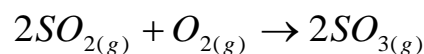
תשובה:



כאשר גופרית, הנמצאת בדלקים כמו פחם, מזוט וסולר תעשייתי, מתחמצנת בעת שריפה (מגיבה עם חמצן) נוצרות תחמוצות גופרית הנפלטות לסביבה (בעיקר גפרית דו-חמצנית). המקורות העיקריים לפליטת תחמוצות גופרית הם תחנות כוח, בתי זיקוק ומפעלי תעשייה שונים.

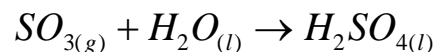
2. באוויר נקי, שיש בו ריכוז גבוה ומספיק של חמצן, מתחמצנת הגפרית הדו-חמצנית לגפרית תלת-חמצנית. נסחו את התהליך:

תשובה:



3. הגפרית התלת-חמצנית מגיבה עם טיפות מים באוויר, ויוצרת אירוסולים של חומצה גפרתית. נסחו את התהליך.

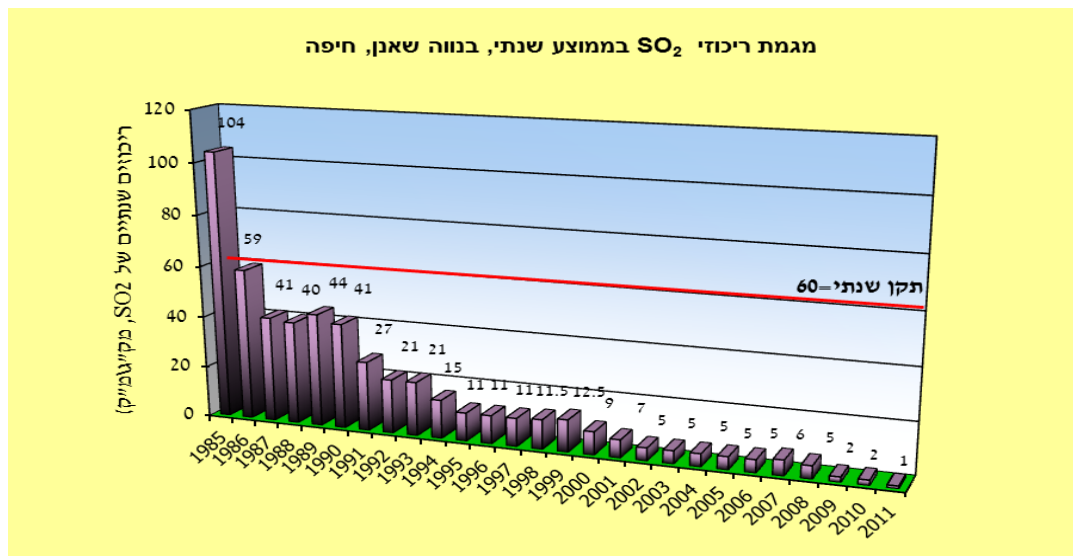
הגפרית התלת-חמצנית מגיבה עם טיפות מים בתהליך הבא:



## משימה – פליטת תחמוצות גופרית מתחנות כוח

מאמצע שנות השמונים של המאה הקודמת, איגוד ערים חיפה פעל להגביל את תכולת הגופרית בדלקים שנצרכו בבתי זיקוק ובתחנת הכוח חיפה באמצעות מעבר לדלק דל גופרית. בשנת 2011 נכנס הגז הטבעי לשימוש, כתחליף למזוט דל-דל גופרית. הגז הטבעי מורכב בעקר ממתאן (CH<sub>4</sub>), כמעט ואינו מכיל גופרית ואף לא מתכות כבדות וחלקיקים.

1. הגרף הבא מציג את ריכוזי ה-SO<sub>2</sub> באוויר שנמדדו בתחנות הניטור של איגוד ערים חיפה בממוצע שנתי בנווה שאנן משנת 1985 ועד לכניסת השימוש בגז טבעי בשנת 2011. הקו האדום האופקי מסמן את התקן השנתי לגופרית דו חמצנית.



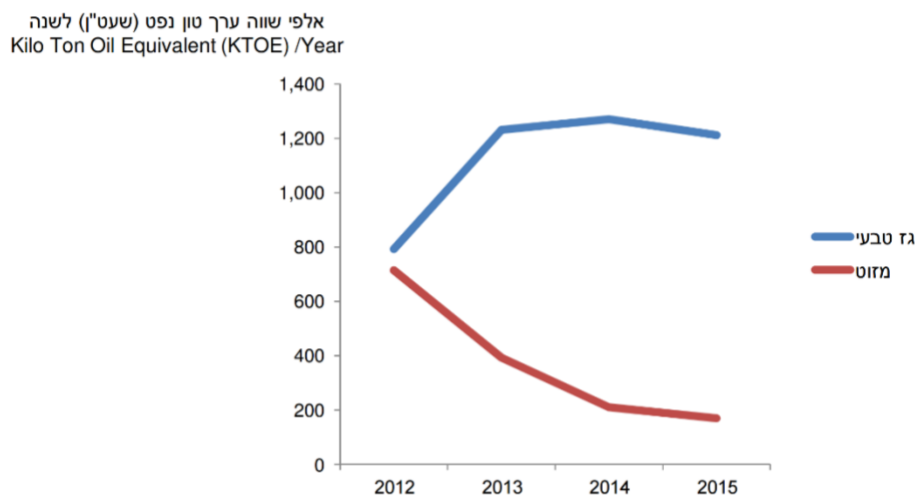
א. תארו את מגמת הגרף והתייחסו לממדי השינוי הנראה. תשובה: בגרף רואים בברור ירידה בריכוז SO<sub>2</sub> לאורך השנים. הירידה המשמעותית הראשונה הייתה בשנת 1986, משנת 2000 הריכוזים היו נמוכים פי 10 מאשר בשנת 1985 ובשנת 2011 הריכוז ירד משמעותית והיה פי 100 נמוך מאשר בשנת 1985.

ב. בחרו את הגורמים האפשריים, מבין הגורמים הבאים, אשר תרמו למגמת שינוי זו והסבירו את בחירתכם.

- ירידה בהיקף התעשייה באזור חיפה
- שימוש בדלקים דלים בגופרית בתחנות הכוח ובבתי הזיקוק
- הגברת הניטור של תחמוצות הגופרית הנפלטות לאוויר
- שימוש בגז טבעי באופן מוגבר

- העשרת הקרקעות באבן גיר
- תשובה: גורמים אפשריים הם:
- שימוש בדלקים דלי גופרית בתחנות הכוח ובבתי הזיקוק
- שימוש בגז טבעי באופן מוגבר

2. בגרף<sup>3</sup> הבא מוצג השינוי בצריכת גז טבעי ומזוט בתעשייה ובתחנות כוח בשנים 2012-2015 בישראל.

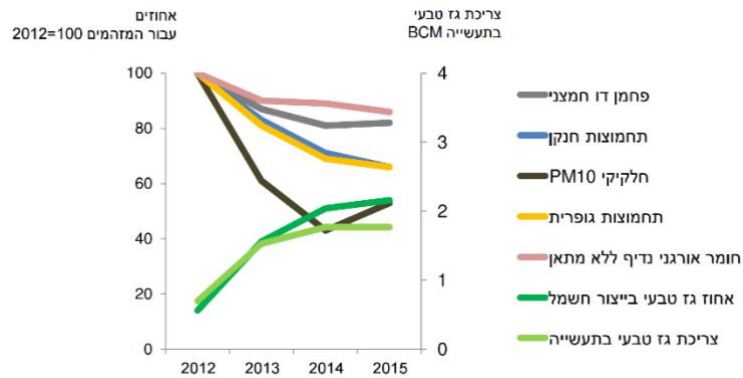


א. תארו את הגרף. התייחסו למגמת השינוי והן לערכים עצמם. בגרף רואים עלייה בשימוש בגז טבעי משנת 2012 עד שנת 2014 ואז התייצבות. העלייה החדה ביותר הייתה משנת 2012-2013. במקביל, יש ירידה מתמשכת בשימוש במזוט. בשנת 2012 היקף השימוש בגז טבעי ובמזוט הייתה דומה אך ב- 2015 הפרש בשימוש משמעותי – בערך פי 6 יותר שימוש בגז טבעי לעומת מזוט.

ב. כיצד התופעה המתבטאת בגרף תשפיע על כמות תחמוצות הגופרית, חנקן וחלקיקים הנפלטות לאוויר?

תשובה: שריפת גז טבעי משחררת כמות פחותה בהרבה של מזהמים לאוויר ולכן כמותם תפחת.

1. <sup>3</sup> הגרפים בשאלה זו לקוחים מ: [אתר המשרד להגנת הסביבה – מרשם הפליטות לסביבה – מפלס](#).



ג. לפניכם גרף נוסף המתאר פליטות של מזהמים שונים מתחנות כוח ותעשייה בין השנים 2012-2015. האם הגרף תומך בתשובתכם לסעיף הקודם? נמקו תוך התבססות על נתונים מהגרף.

תשובה: מהגרף עולה כי אחוזי פליטת כל המזהמים יורדת בשנים אלו הודות למעבר לגז טבעי. הירידה המשמעותית ביותר היא של פליטת חלקיקים PM10.

## ניטור אוויר - תחנות ניטור וסוגי נתונים

### מערך הניטור בישראל - מבוא

ניטור הינו מעקב אחרי תנאים או תהליכים, באמצעות מכשור שאינו משפיע על תנאים או תהליכים אלה, ובייחוד מעקב רצוף באמצעות מכשור מיוחד אחר מאפיינים סביבתיים כגון רמות זיהום אוויר, קרינה רדיואקטיבית וכדומה.

בישראל פועל מערך ניטור איכות אוויר ארצי המונה יותר מ-100 תחנות ניטור הפזרות מהגליל בצפון ועד אילת בדרום. תחנות הניטור מופעלות על ידי הגופים הבאים: המשרד להגנת הסביבה, מספר איגודי ערים לאיכות סביבה, רשויות מקומיות, חברת החשמל, חלק ממפעלי תעשייה. תחנות הניטור מודדות את ריכוזי מזהמים באוויר באופן רציף בשני סוגי תחנות: תחנות כלליות ותחנות תחבורתיות.

תחנות כלליות הן תחנות הממוקמות באזור מייצג, בגובה של גגות הבניינים או בשטח כפרי פתוח ולא בקרבת מקורות פליטה ספציפיים, כדוגמת ארובות, מפעלי תעשייה או כבישים. תחנות אלה מאפיינות את איכות האוויר באזורי מגורים ואת ריכוזי המזהמים להם נחשף הציבור באזור. בתחנות אלו לרוב נמדדים המזהמים החשובים והעיקריים הנמצאים באוויר: גופרית דו חמצנית ( $SO_2$ ), תחמוצות חנקן ( $NO_x$ ), אוזון ( $O_3$ ), פחמן חד-חמצני ( $CO$ ) וחלקיקים.

תחנות תחבורתיות הן תחנות המוצבות על הקרקע בקרבה לכביש לאורך צירי תחבורה ראשיים. מדידה בתנאים אלו הופכת את הניטור בתחנות התחבורתיות למייצג בצורה מיטבית את ריכוז המזהמים שנחשפים לו נהגים בעיר, הולכי רגל, ויושבי בתי קפה בסמוך לכבישים. באזור מפרץ חיפה קיימים מקורות רבים ומגוונים הפולטים לאוויר מזהמים, כגון גורמי תעשייה, תחבורה, וחלקיקים טבעיים (לדוגמת אבק ואובר). במטרה "לפקח" על איכות האוויר באזור מפרץ חיפה, נמדדת איכות האוויר בשטח איגוד ערים מפרץ חיפה באמצעות מערך הניטור של האיגוד, על פי "תקני סביבה", המגדירים את ריכוז המזהמים המותר באוויר הפתוח, ללא התייחסות לגורם מזהם ספציפי (בניגוד ל-"תקני פליטה", המגדירים את ריכוז המזהמים המרבי הישיר המותר לפליטה מארובות המפעלים). התקנות לאוויר נקי (ערכי איכות אוויר) של המשרד להגנת הסביבה, שנקבעו על פי חוק אוויר נקי, נועדו לקבוע את הערכים המרביים (ערכי יעד, ערכי סביבה וערכי התרעה) של ריכוזי מזהמים, שימנעו ככל הניתן השפעות על בריאות הציבור ועל הסביבה.

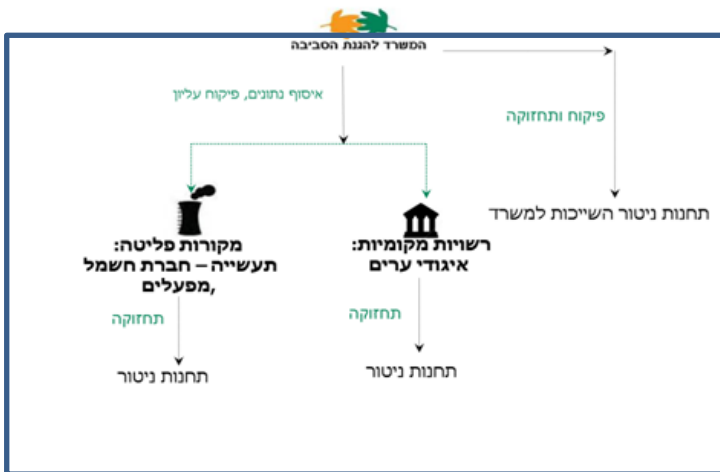
### קיימים מספר סוגים של ניטור איכות אוויר:

- ניטור רציף - מדידה רציפה של ריכוזי מזהמים באוויר, 24 שעות ביממה, 365 ימים בשנה, והשוואת ערך הריכוז הממוצע לתקן הסביבתי המתאים.
- דיגום - שיטה לבדיקת ריכוזי מזהמים לגביהם לא קיימת טכנולוגיה לניטור רציף. דגימות אוויר תקופתיות נאספות ומועברות למעבדות לבדיקתן בעזרת שיטות ומכשור המתאימים.
- פליטה (ניטור בארובה) - מדידת ריכוזי מזהמים הנפלטים ישירות מארובות המפעלים.

### **מערך ניטור אוויר ארצי (מנ"א) בישראל**

מערך ניטור האוויר בישראל מקיף למעלה מ-140 תחנות ניטור אוויר הפרוסות בכל רחבי הארץ. תחנות הניטור מופעלות על ידי הגופים הבאים: המשרד להגנת הסביבה, מספר איגודי

ערים לאיכות סביבה, רשויות מקומיות נבחרות, חברת החשמל, חלק ממפעלי תעשייה. תחנות ניטור פועלות בישראל החל משנות השמונים של המאה העשרים, והיקפן הורחב מאד לפני כעשר שנים. בתחנות הניטור מתבצע רישום רציף של ריכוזי מזהמי האוויר, באמצעות מכשירי מדידה, המבוססים על עקרונות פעולה כימיים ופיסיקליים. נתוני הניטור מתפרסמים



בזמן אמת וכן משמשים להערכת איכות האוויר באזורים שונים, לפרסום התרעות לציבור במצבי זיהום אוויר גבוה ומתן הנחיות לאוכלוסיות הרגישות.

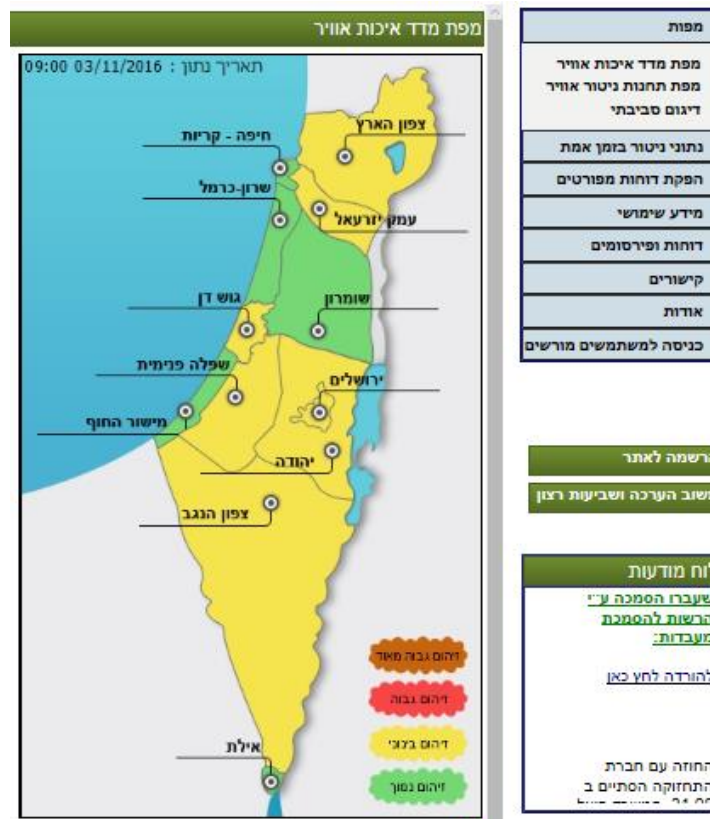
(מקור: מצגת מערך ניטור אוויר ארצי - המשרד להגנת הסביבה).

בשנת 2014 חתם השר להגנת הסביבה על הוראה להקמת מערך ניטור אוויר ארצי (מנ"א), שיאחד את כל התחנות לניטור אוויר הפועלות מטעם גופים שונים, ויפרסם מערכת הנחיות אחידה להפעלתן. המערך החדש מאפשר העברת מידע אמין, נגיש וקביל, לציבור.

מנ"א הוקמה במטרה לקיים בסיס נתונים לאומי של איכות אוויר שימש ל:

- תכנון מדיניות ארוכת טווח ובחינת יישומה וזאת על מנת לצמצם ואף למנוע השפעות מזיקות על בריאות הציבור והסביבה.
- קביעת ערכי איכות אוויר.

- הערכת איכות האוויר ורמת החשיפה של האוכלוסיה למזהמי אוויר. **אתר מנ"א** פתוח לציבור, מפרסם נתוני ניטור האוויר מכוון, והמידע בו זמין וכולל הסברים מלווים.



מפת מדד איכות אוויר, אתר מנ"א

באתר מנ"א ניתן למצוא נתונים יומיים מהשנים האחרונות ואף ניתן להפיק דוחות מספר שנים אחורה. על בסיס נתונים אלו מפרסם המשרד להגנת הסביבה דו"חות איכות אוויר חודשיים ושנתיים המופיעים גם הם באתר המשרד. משתנה מרכזי המוצג במנ"א הוא מדד איכות האוויר הנקבע על ידי המזהם שרמת הזיהום הנגרמת על ידו היא החמורה ביותר. לקביעת המדד נלקחים בחשבון שבעת המזהמים הבאים:  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$ ,  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$  (חומר חלקיקי שקוטרו קטן מ- 10 מיקרון),  $PM_{2.5}$  (חומר חלקיקי שקוטרו קטן מ- 2.5 מיקרון). לא בכל התחנות נמדדים כל המזהמים. במידה וחסר נתון בתחנה מסויימת, מחשבת המערכת את מדד זיהום האוויר בהסתמך על מדידת מזהם זה בתחנה סמוכה.

האתר של מנ"א מעמיד לרשות הציבור מפת תחנות לניטור איכות אוויר הפרוסות בכל רחבי הארץ. באמצעות המפה ניתן לקבל את הנתונים הבאים (המידע יוצג בלחיצה על סמל התחנה):

- מידע על התחנה
- מידע על מזהמי האוויר הנמדדים בתחנה
- דוח חריגות מתקני איכות האוויר

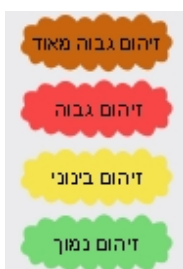


גם באתר של המשרד להגנת הסביבה ניתן למצוא קישור לאתר מנ"א עם [מפת תחנות לניטור איכות אוויר](#) בפריסה ארצית.

### משימה – הכרות עם אתר מנ"א



היכנסו [לאתר מנ"א](#) וצפו במפת מדד איכות אוויר המוצגת במסך. המפה מציגה תמונת מצב של איכות האוויר בארץ. הצגת הנתונים מתעדכנת פעמיים ביום: בשעה 9:00 ובשעה 14:00. בתחתית המפה מופיע קישור תחזית איכות האוויר לימים הקרובים.



מדד איכות אוויר במפה מציג 4 דרגות של זיהום אוויר המוצגים בצבעים שונים:

א. היכנסו במהלך שבוע למפה זו – חלק מהימים בבוקר וחלק בשעות אחר הצהריים והכיננו רישום מסודר של איכות האוויר באזורים שונים בארץ בהתאם לצבעים השונים – מומן לץ בטבלה וכן גם לשמור מספר תמונות מסך.

ב. מה ניתן ללמוד מנתונים אלו מצב איכות האוויר בארץ?

ג. מה הייתרונות ומה החסרונות של מפות אלו לדעתכם?

תשובה:

המפה מאפשרת מידע מהיר וכללי לגבי מצב זיהום האוויר באזורים שונים בארץ. לא ניתן לדעת מהם סוגי המזהמים הגורמים לצבעים השונים. זהו מידע כלל ביותר.



## הכרות עם תחנת ניטור

בתחנת הניטור נערכות מדידות של הרכב האוויר באזור שבו היא ממוקמת. בתחנה קיים מכשור מיוחד המודד ובודק את ריכוזי זיהום האוויר הקיימים באזור. תחנת ניטור משמשת כמעבדה עצמאית שבה נאספים נתוני איכות אוויר באופן רציף (24 שעות ביממה, 7 ימים בשבוע). בכל תחנה מבוצע כיוול יום יומי אוטמטי וכיוול תקופתי ע"י מעבדה מקצועית חיצונית, על מנת להבטיח את מהימנותם של הנתונים. בכל תחנת ניטור נמדדים מזהמי אוויר ופרמטרים מטאורולוגיים, כגון: כיווני רוח, טמפרטורה, לחות יחסית, לחץ ברומטרי, קרינת השמש ומשקעים. חשיבות התחנה היא באספקת המידע ובהתרעה מפני זיהום חריג בראשית התהוותו.



תחנת ניטור אוויר היא למעשה מבנה קטן בגודל 2.5X2.5X3.0 מטר, שבו מותקנים מכשירים המודדים את ריכוז המזהמים באוויר. בחירת מיקום התחנה נעשה על ידי צוות יועצים מקצועיים, המתחשב בשיקולים מגוונים כגון: אופי האזור אותו רוצים לנטר מבחינה גיאוגרפית, מצב מטאורולוגי והטופוגרפי ומבחינת גודל וצפיפות האוכלוסייה, פיזור האוויר סביב התחנה, מקורות זיהום האוויר ואחרים.

תחנת ניטור אוויר של מנ"א בגבעתיים  
(מתוך אתר איגוד ערים אזור מפרץ חיפה להגנת הסביבה)

## סוגי תחנות ניטור

קיימים שני סוגים של תחנות ניטור:

**תחנות כלליות** הממוקמות באזור מייצג, בגובה של גגות הבניינים או בשטח כפרי פתוח ולא בקרבת מקורות פליטה ספציפיים כדוגמת ארובות, מפעלי תעשייה או כבישים. תחנות אלה מאפיינות את ריכוזי המזהמים באזורי מגורים העירוניים או הכפרים וכן בקירוב את החשיפה של הציבור למזהמים הללו. בתחנות הללו נמדדים המזהמים החשובים והעיקריים הנמצאים באוויר.

**תחנות תחבורתיות** המוצבות בקרבה לכביש על הקרקע לאורך צירי תחבורה ראשיים. מדידה בתנאים אלו הופכת את הניטור בתחנות התחבורתיות למייצג בצורה מיטבית את ריכוז המזהמים שנחשפים לו נהגים בעיר, הולכי רגל, יושבי בתי קפה. בתחנות אלה נמדדים המזהמים הראשוניים הנפלטים מכלי רכב.



## מדד איכות האוויר במפרץ חיפה והסביבה

מפרץ חיפה היה האזור הראשון בארץ בו הוקמה מערכת ניטור איכות אוויר. המערכת הוקמה על-ידי ובאחריות איגוד ערים מפרץ חיפה - הגנת הסביבה.

תחנות ניטור אוויר הפזורות במקומות שונים ברחבי אזור חיפה מודדות ברציפות את ריכוז המזהמים באוויר ומדווחות ישירות לאיגוד.

מערך הניטור של איגוד ערים מפרץ חיפה כולל 15 תחנות קבועות ותחנה ניידת אחת, הפזורות בכל אזור מפרץ חיפה. בנוסף, פועלות בתחום השיפוט של האיגוד מערכות ניטור נוספות: ארבע תחנות ניטור של חברת כרמלטון המנטרות את איכות האוויר באזורי המגורים הסמוכים לכניסות של 'מנהרות הכרמל', תחנות ניטור "תחבורתיות" של המשרד להגנת הסביבה, תחנות ניטור של חברת החשמל ותחנות ניטור אוויר ניידת של איגוד ערים הכוללת ציוד ומכשור טכנולוגי חדיש.

באתר האיגוד ניתן לעקוב אחר איכות האוויר באמצעות **מפה דינמית**. במפה זו, מוצג מדד איכות האוויר (מא"ה) שפותח באיגוד ערים מפרץ חיפה ונבנה בהתאם לשיטה מקובלת בארה"ב ואירופה במטרה לידע את הציבור הרחב על מצב איכות האוויר באזור מגוריו באופן שוטף ובזמן אמת.

מא"ה מאפשר להשוות בין מצבי איכות אוויר במקומות שונים ובזמן שונה. המדד הותאם לתנאי הארץ על ידי שימוש בתקנים ישראלים לאיכות אוויר. ניתן למצוא גם היסטוריה של מדד לתקופה מסוימת (יום, שבוע) בטבלה דינמית. המדד המוצג במפה מחושב בהתאם למדידה רציפה של ריכוז באוויר של שבעה מזהמים: תחמוצות חנקן ( $\text{NO}_x$ ) דו תחמוצת החנקן  $\text{NO}_2$ , גופרית דו-חמצנית ( $\text{SO}_2$ ), אוזון ( $\text{O}_3$ ) וחומר חלקיקי עדין  $\text{PM}_{10}$  ו- $\text{PM}_{2.5}$ .

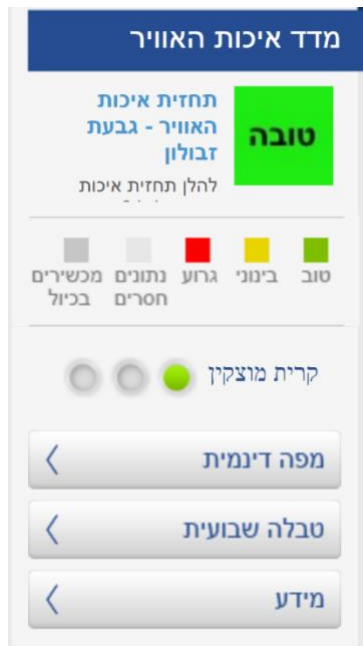
## ניתוח מידע ממפה דינמית של איכות אוויר

### משימה – איסוף וניתוח מידע ממפה דינמית של איכות האוויר באזור מפרץ

#### חיפה



היכנסו [לאתר איגוד ערים מפרץ חיפה](#)



במסך הבית, בצד שמאל ישנה משבצת בשם: מדד איכות האוויר.

א. היכנסו ל"מפה דינמית" וקבלו מפה עם פריסת מדד איכות האוויר בתחנות הניטור השונות באזור, לפי צבעים.

התייחסו לאזורים השונים במפרץ חיפה והסביבה – מהו מצב איכות האוויר? רשמו מתי בדקתם מידע זה (תאריך, יום ושעה). במידה ויש צבעים שונים באזורים, ציינו זאת.

ב. חזרו למסך הבית והיכנסו לטבלה שבועית, בה ניתן לקבל מדדי איכות אוויר במהלך השבוע האחרון לאורך כל שעות היממה.

בחרו שני אזורים בטבלה וסכמו בטבלה הבאה את המידע

של השבוע האחרון לגבי איכות האוויר באזורים אלו. רשמו את שם אזור א' שבחרתם ואת שם אזור ב'. בטבלה התייחסו לצבעים השונים במהלך היום.

תאריך	מדד כללי של איכות האוויר – אזור א	מדד כללי של איכות האוויר – אזור ב
יום ושעה בה נכנסתם לבדוק את המדד		
תאריך יום קודם		
תאריך יום קודם		
תאריך יום קודם		
תאריך יום קודם		
תאריך יום קודם		
תאריך יום קודם		

בהתאם לטבלה שמילאתם , נתחו את המצבים שנרשמו באיכות האוויר (צבעים : צהוב – המזהם הגרוע ביותר עלה מעל חצי התקן, ואדום – המזהם הגרוע ביותר עלה מעל התקן) והעלו השערות לסיבות אפשריות לחריגות אל ו.

למורה:

מומלץ לכוון את התלמידים לשעות של החריגות ולאזורים השונים . להתייחס למזג אוויר כללי בימים אלו (אובך , סופות חול , רוחות וכדומה) , קרינת שמש חזקה הגורמת לעלייה באוזון וכדומה.

---

## חלק שני –

# הפקת דוחות מפורטים של מזהמי אוויר מתחנות ניטור וחקר הנתונים המתקבלים

---

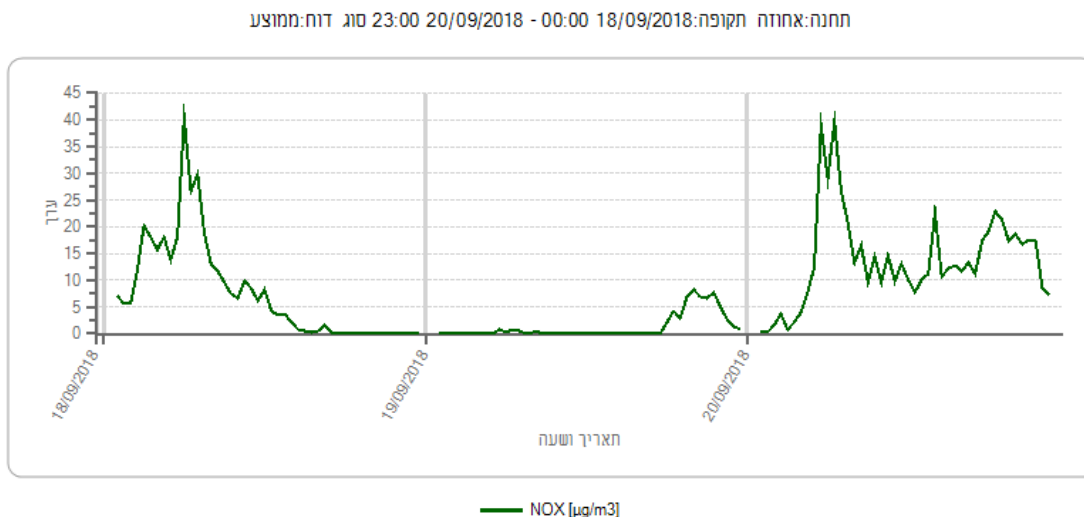


## מידע מתחנות ניטור

באתר איגוד ערים מפרץ חיפה ניתן להיכנס לכל אחת מתחנות הניטור בתחום השיפוט של האיגוד ולהפיק דוח מפורט למזהמים שונים ולפרקי זמן שונים לפי הצורך. המידע נגיש לציבור הרחב.

### משימה – הכרות עם דוח המופק מתחנת ניטור וניתוח המידע המוצג בו

א. לפניכם דוגמא לדו"ח המוצג בצורה גרפית של תחנת ניטור המוצבת באחוזת בחיפה. הדו"ח מציג ממוצע חצי שעתי של ריכוזי תחמוצות חנקן עבור שלושה ימי מדידה : 18.9.19- 20.9.19 - ימים ג' עד ה'.



א. תארו את השתנות ריכוז תחמוצות החנקן בכל אחד משלושת ימי המדידה.  
תשובה:

מהגרף ניתן לראות כי ביום המדידה הראשון והאחרון קיימת רמה דומה של תחמוצות חנקן (גבוהה מעט יותר ביום השלישי). גם צורת הגרף דומה כאשר ניתן להבחין שהריכוזים עולים משמעותית ביום ויורדים בשעות הלילה והבוקר המוקדמות. ביום השני ניתן לראות ירידה משמעותית בריכוזי תחמוצות החנקן כבר מהערב שלפני ועד שעות הערב באותו היום.

ב. העלו השערות לגבי השינויים בריכוזי תחמוצות החנקן בכל אחד מימי המדידה המוצגים בגרף.

תשובה:

במהלך היום, בשעות הפעילות של כלי הרכב (פרטיים וציבוריים) יש עלייה בפליטת תחמוצות החנקן מכיוון שהם הגורם העיקרי לפליטתם. ביום השני יש פליטה מועטה במיוחד, כמעט אפסית דבר המעיד על יום בו לא הייתה תנועה של כלי רכב. כמו כן, מטאורולוגיה משפיעה על יעילות פיזור מזהמים באוויר.

ג. בשנת 2019 יום כיפור חל ב- 19.9. האם מידע זה מסביר את הגרף ביום זה? נמקו.

תשובה:

ביום כיפור תנועת הרכבים נפסקת כליל. בשל ההפסקה המוחלטת של תנועת כלי רכב, כל פליטת תחמוצות החנקן מתחברה הינה אפסית וזה מסביר את הגרף ביום זה. למרות שהעשייה הכבדה ממשיכה לפעול, ניתן לראות כי השפעתה על פליטת תחמוצות חנקן באזורי מגוריים היא מזערית ביותר.

## הפקת דו"ח תחנה – שלב אחרי שלב

למדורות ל"ג בעומר יש מחיר סביבתי כבד. החלקיקים של שריפת העצים במדורה מהווים זיהום אוויר חמור ובמידה שנילוים להם תנאי מזג אוויר של שרב, היעדר רוח ותנאים אטמוספריים שגורמים לכליאת המזהמים, הזיהום קשה עוד יותר. ל"ג בעומר בשנת תשע"ט (2019) חל ביום חמישי ה-23 במאי. במקביל אירוע קיצוני של שרב כבד שרר בארץ בתאריכים 22.5.19 – 24.5.19. ארועי ל"ג בעומר צוינו במהלך כל אותו שבוע. הנושא עלה לכותרות והרשויות הזהירו את הציבור. לפניכם כותרת מאתר החדשות וואלה:

**וואלה NEWS**

---

חדשות // חדשות בארץ // אירועים בארץ

## שיא השרב כבר כאן: עומס חום, זיהום גבוה בגלל המדורות ומה בהמשך?

**23.05.2019**



וכותרת מאתר Ynet:

## מפגעי ל"ג בעומר: זיהום אוויר של עד פי 11 מהממוצע הלילה

מהמשרד להגנת הסביבה נמסר כי זיהום האוויר היה גבוה הלילה בשיא עד פי 11.1 לעומת 7.1 בשיא בשנה שעברה - בין היתר בשל התנאים המטאורולוגיים הקשים. זיהום האוויר הגבוה ביותר נרשם בבני ברק, קריית מלאכי, תל אביב ורחובות

אילנה קוריאל פורסם: 23.05.19 , 09:18

[לקריאת הכתבה המלאה היכנו לקישור זה.](#)

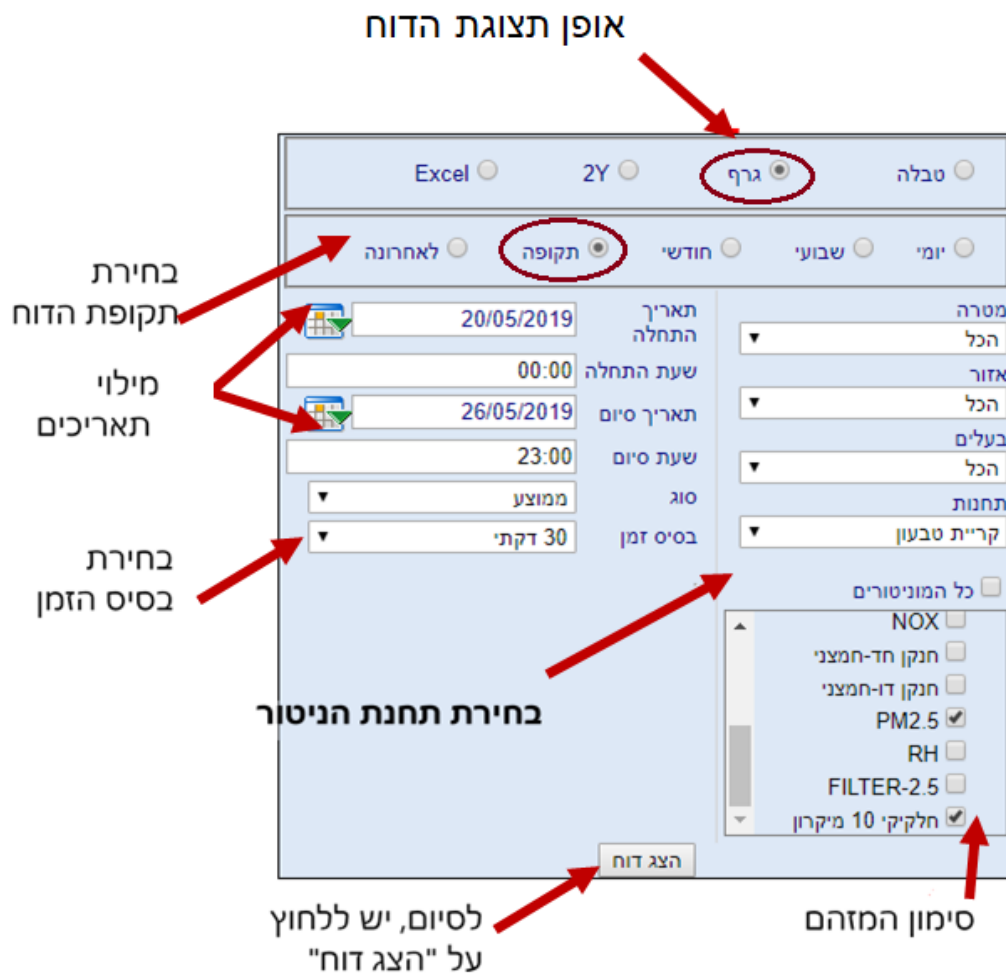
על מנת לבדוק כיצד השפיעו ארועי ל"ג בעומר בשילוב עם השרב הקיצוני שפקד את הארץ בימים אלו על רמת זיהום האוויר נפיק דוח תחנה מאחת מתחנות הניטור של איגוד ערים. הפקת הדוח תהיה עבור המזהמים: חלקיקים 10 מיקרון (PM10) וחלקיקים PM2.5. את הדוח תפיקו לכל אותו שבוע.



על מנת להפיק דוחות ניטור, היכנסו לאתר האינטרנט של האיגוד - [קבלת נתוני איכות אוויר בזמן אמת](#)

יש לבחור מהתפריט בצד ימין בלשונית דו"חות ובה לבחור בלשונית "דוח תחנה". לאחר הופעות חלון בצבע תכלת, יש לבחור במאפייני הדו"ח אותו רוצים להפיק.

היעזרו באיור הבא על מנת למלא את נתוני הדוח אותו תרצו להפיק. לרשותכם גם הנחיות בהמשך להפקת דוח תחנה שלב אחרי שלב.



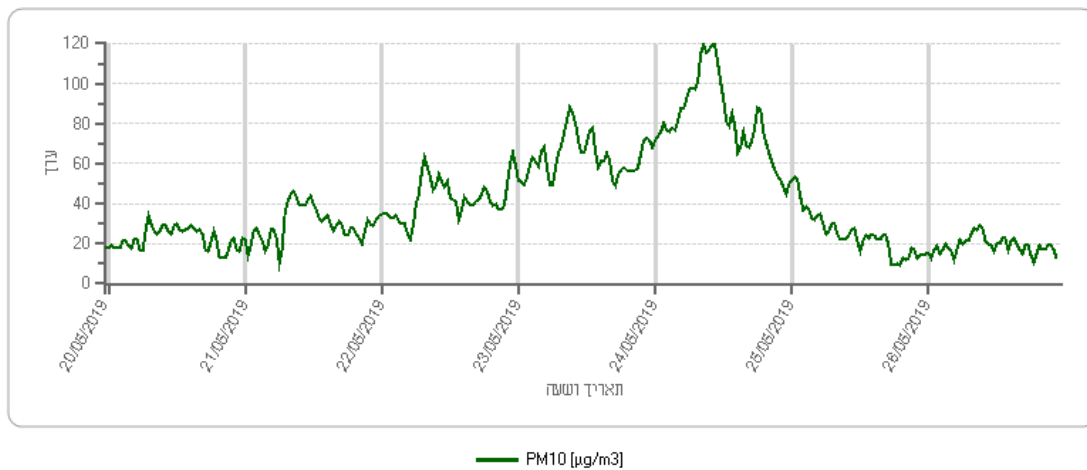
היעזרו בשלבים הבאים להפקת דו"ח עבור שישה ימים עוקבים 20.05.19-26.05.19 - שלושה ימים לפני ושלושה ימים אחרי ל"ג בעומר תשע"ט:

1. בחירת תחנת ניטור - בחרו תחנת ניטור קריית טבעון.
2. בחירת תקופת הדו"ח - בחרו דוח תקופתי.
3. מילוי תאריכים - מלאו תאריך התחלה 20.05.19 שעה 00:00 תאריך סיום 26.05.19 שעת סיום 23:00.
4. בחירת בסיס זמן - בחרו בסיס זמן 30 דקות (חצי שעות).
5. בחירת אופן תצוגת הדו"ח - בחרו גרף.
6. סימון המזהם - סמנו את המזהם PM2.5, PM10 (עבור כל אחד מהמזהמים הפיקו גרף נפרד).
7. לחצו על הפקת הדוח והעתיקו אותו למחברותיכם.

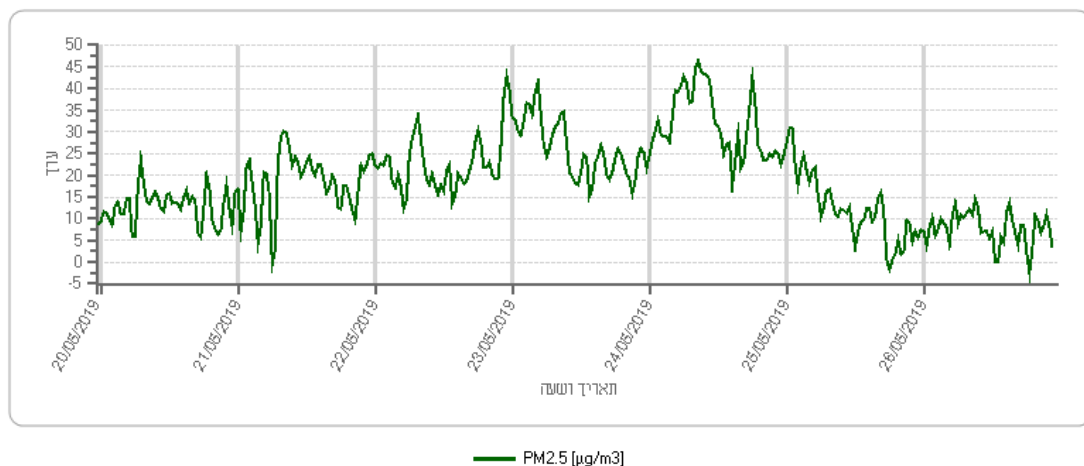
- התייחסו לשני הדוחות שהפקתם וענו על השאלות הבאות:
- הסבירו מדוע נבחרו המזהמים PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> להפקת הדוח.
  - תארו את הגרף שקיבלתם (התייחסו לשינויים בריכוזי המזהמים שנבחרו).
  - הסבירו את ההמצאים תוך השוואה בין הגרפים. שימו לב!! לקנה המידה של ציר Y המייצג את הערכים של המזהם אינם זהים בשני הגרפים.
  - הציעו טיעונים בעד ונגד קיום המדורות בחג ונמקו בהתייחס לדוחות שהפקתם.

תשובה:

תחנה: קריית טבעון תקופה: 20/05/2019 00:00 - 26/05/2019 23:00 סוג דוח: ממוצע



תחנה: קריית טבעון תקופה: 20/05/2019 00:00 - 26/05/2019 23:00 סוג דוח: ממוצע



עבור שני סוגי החלקיקים ניתן לראות מגמה של עלייה הדרגתית בימים שקדמו ל"ג בעומר כאשר בימים העוקבים לארועי ל"ג בעומר (ה- 23.5 עד ה-24.5) ריכוזי המזהמים הגיעו לשיא. מהתבוננות בגרפים ניתן לראות כי ריכוזם של חלקיקי PM<sub>10</sub> באוויר עלה פי 5-6 (ריכוז של

כ- $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  ביום הראשון והאחרון של הגרף וריכוז של כ- $120\mu\text{g}/\text{m}^3$  בשיא שחל ב-24.05). במקביל ניתן לראות כי ריכוזם של חלקיקי PM2.5 התחיל לעלות בהדרגה בימים שקדמו לחג ובשיאו (בימים ה-23.5 עד ה-24.5) ריכוזו באוויר עלה פי 3 בהשוואה לריכוזו הרגיל כפי שנצפה מספר ימים לאחר החג (ריכוז של כ- $45\mu\text{g}/\text{m}^3$  בימי השיא בהשוואה לריכוז של כ- $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  ואף פחות לקראת הערב ביום ה-25.5 ובמשך כל ה-26.5) ניתן לשער כי לאחר שיא הארועים בל"ג בעומר שחל בלילה של ה-23.05 עקב תנאים מטאורולוגיים מחמירים חל פיזור מזהמים שנמשך עוד מס' ימים עד שבירת השרב.

### הפקת דו"חות מתחנות ניטור וניתוח השוואתי

עליכם להפיק 8 דוחות לפי המפתח הבא:

- בחרו שתי תחנות – החליטו אלו אזורים במטרפולין חיפה תרצו לחקור ובחרו בשתי תחנות ניטור מרשימת התחנות הבאה:  
אחוזה, דליית אל כרמל, הדר, חוגים, כפר חסידים, נווה שאנן, נשר, עצמאות חיפה, פארק כרמל, קריית ביאליק עופרים, קריית מוצקין בגין, קריית ביאליק, קריית אתא, קריית בנימין, קריית חיים, קריית חיים – דגניה, קריית חיים – רגבים, קריית טבעון, קריית ים, שוק, שפרינצק.
- בחרו שני סוגי מזהמים מבין ארבעת המזהמים:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , חלקיקי 10 מיקרון ( $\text{PM}_{10}$ ),  $\text{PM}_{2.5}$
- בחרו שתי תקופות של שבוע: פסח או סוכות ושבוע "רגיל" (היעזרו בלוח שנה) בהם תעקבו אחרי מזהמים אלו בתחנות שבחרתם. העתיקו את הטבלה הבאה ומלאו אותה בהתאם לבחירתכם.

שבוע "רגיל"	סוכות או פסח (7 ימים)	סוג מזהם				תחנה
		PM2.5	PM10	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	

בחירה לדוגמה:

שבוע* "רגיל"	סוכות* (7 ימים)	סוג מזהם				תחנה
		PM2.5	PM10	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	
X	X		X		X	קריית טבעון
X	X		X		X	קריית מוצקין - בגין

\*ציינו את התאריכים המדויקים אותם בחרתם לפי הטבלה הבאה:

שבוע "רגיל"		שבוע חג	
יום בשבוע	תאריך	יום בשבוע	תאריך

בנוסף רישמו מהם ימי חול המועד ומה הם ימי החג

4. הפיקו 8 גרפים ונתחו אותם בהיבטים הבאים:

א. תיאור של כל אחד מגרפים בנפרד - תארו את השתנות ריכוז המזהם בכל אחד משבעת ימי המדידה בכל אחד מהגרפים.

ב. עבור כל תחנה בניפרד – העלו השערות לגבי השינויים בריכוזי המזהמים כתלות בתקופה הנבדקת (שבוע החג ושבוע עבודה רגיל)

- השוואה בין המזהמים בשבוע החג (7 ימים)
- השוואה בין המזהמים בשבוע רגיל

ג. בין התחנות – בהסתמך על סעיף ב' העלו השערות לגבי השינויים בריכוזי המזהמים בתחנות השונות.

- השוואה לכל מזהם במהלך שבוע החג
- השוואה לכל מזהם במהלך שבוע "רגיל"

נתחו כל השוואה בהתבסס על מיקום התחנה, תקופה בשנה וסוג המזהם. העלו השערות מושכלות לגרפים שקיבלתם. התייחסו בהשערות גם לתנאים מטאורולוגיים אפשריים (טמפרטורות, רוחות, גשם, שרב).

### שימו לב –

- לא כל התחנות מציגות את 4 המזהמים לעיל
- נתחו כל השוואה בהתבסס על מיקום התחנה, תקופה בשנה וסוג המזהם.
- העלו השערות מושכלות לגרפים שקיבלתם. התייחסו בהשערות גם לתנאים מטאורולוגיים אפשריים (טמפרטורות, רוחות, גשם, שרב).

### מחון מוצע לפעילות

ציון והערות	מדדי ביצוע			פירוט	קריטריון וחלקו היחסי בציון
	חלש	בינוני	גבוה		
	1-3	4-7	8-10	כותרות לגרפים, צירים, טבלאות בנויות כראוי	הפקת הגרפים וניתוחם 75%
	1-7	8-14	12-15	אבחנה בין תיאור גרף ובין ניתוח/הסבר	
	1-9	10-19	20-25	רמת/הבנת ניתוח הגרפים (גורמי השוואה רלוונטיים)	
	1-9	10-19	20-25	הסקת מסקנות – קישור למגוון גורמים	
	1-3	4-7	8-10	אירגן וסדר (תוכן, עמ', כותרות, מבנה אחיד)	הגשה חזותית 25%
	1-2	3-4	5	ניסוחים ברורים ובהירים	
	1-2	3-4	5	הגשת כל הגרפים הנידרשים	
	1-2	3-4	5	עמידה בלוח זמנים במהלך העבודה ובסיומה	

המלצות למורה:

1. לפתוח מסמך וורד שיתופי לכל חברי הכיתה. במסמך זה כל קבוצה תמלא עמוד אחד בו תציג גרף עם הממצאים המעניינים ביותר (גרף אחד לכל קבוצה). הקבוצה תציג בתחילת העמוד את שמות חברי הקבוצה, את המזהם הנבחר, שם התחנה ומיקום התחנה, התאריכים שנבחרו (בהתייחס לתקופה בשבוע). לאחר מכן יוצג הגרף ומתחתיו תיאור והסבר של הממצאים שניתן לראות בגרף זה. על התלמידים לעלות השערות לממצאים בהתבסס על הידע שלמדו בפרק הראשון ועל תנאים מטאורולוגיים אפשריים.

להלן דוגמה לדף שיוצג על-ידי קבוצת תלמידים:

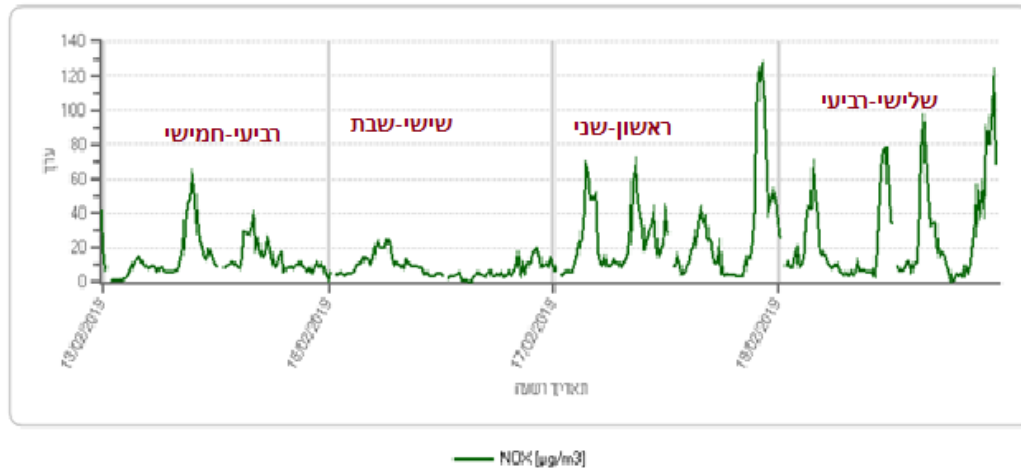
שמות חברי הקבוצה:

שם המזהם: NO<sub>x</sub>

תחנת הניטור שנבחרה: תחנת קרית מוצקין, בגין

תקפה נבדקת: שבוע עבודה רגיל – 13.02.19 - 20.02.19 – יש לציין את ימי השבוע על הגרף.

תחנת: ק. מודקין בגין תקופה: 13/02/2019 00:00 - 20/02/2019 23:00 סוג דוח: חודשי



**תיאור:** ניתן לראות כי ריכוז המזהם  $NO_x$  בימים הראשונים 13-14.2.19 (ימים רביעי וחמישי) גבוה יותר מריכוזו של המזהם  $NO_x$  בימי 15-16.2.19 (שישי-שבת). ריכוז המזהם  $NO_x$  עולה שוב ביום החל מה- 17.2.19 (יום ראשון).

**הסבר:** המזהם  $NO_x$  מקורו בתחבורה. מכיוון שהתחנה ממוקמת על ציר תחבורה סביר להניח כי במהלך שבוע העבודה יש תנועה רבה של כלי רכב באזור, שפוחת משמעותית במהלך סוף השבוע ולכן ניתן לראות ירידה בריכוזו. גם למזג האוויר יש השפעה על מידת הזיהום ועל המדידות. ככל הנראה בימים הראשונים רביעי-חמישי היו תנאים מטאורולוגיים שאיפשרו פיזור מזהמים טוב יותר (רוח ואולי אף גשם) בהתחשב בעובדה כי מדובר על שבוע במהלך החורף, מאשר בימים ראשון-רביעי.

## 2. הרחבה

פרוט ההנחיות המוצעות לעיל יכולות להיות רק דוגמה לחקר עבור התלמידים. ניתן גם להשאיר הנחיות כלליות של היקף החקר הנדרש: לדוגמה הפקת 8 דוחות תחנה ולהשאיר לתלמידים להציע שאלות חקר המעניינות אותם כגון:

- האם ובאיזה אופן זיהום אויר ממזהמים שונים מושפע מימי השבוע?
- האם ובאיזה אופן ריכוז זיהום האוויר ממזהם X באזורים ... מושפעים מהשעות השונות ביום?

תלמידים אשר ינסחו שאלות חקר מסוג זה יצטרכו לציין מי הוא הגורם המשפיע ומה הגורם/ים המושפעים וכן מה הם הגורמים הקבועים שיש לקחת בחשבון.

---

## חלק שלישי – פועלים לצמצום זיהום אוויר במפרץ חיפה

---





## התוכנית הלאומית לצימצום זיהום האוויר במפרץ חיפה



באוגוסט 2015 פרסם המשרד להגנת הסביבה את המסמך:

["תכנית לצמצום זיהום האוויר והסיכונים הסביבתיים במפרץ חיפה לשנים 2015-2020"](#).

מדובר "בתכנית פעולה ממשלתית לצמצום זיהום האוויר והסיכונים הסביבתיים באזור מפרץ חיפה. תכנית הפעולה הוכנה בתיאום עם משרדי האוצר, הבריאות והתחבורה ובשיתוף עם עיריית חיפה ואיגוד ערים אזור מפרץ חיפה – הגנת הסביבה. יישום של כלל הפעולות המפורטות בתכנית יסייע בהפחתה משמעותית בזיהום האוויר. לדוגמא: הפחתה של כמחצית מפליטות המזהמים האורגניים הנדיפים במפרץ, בצמצום הסיכונים לאוכלוסייה בעת אירועי חירום, בשיפור יכולת הניטור הסביבתי והבריאותי ובשיפור המידע המפורסם לציבור. כל אלו יחד יתרמו לשיפור איכות החיים של תושבי מפרץ חיפה ולהגנה על בריאותם".

התוכנית כוללת נקיטת צעדים בתחומים הבאים:

- צמצום זיהום האוויר מהתעשייה וממקורות פליטה נייחים
- צמצום זיהום האוויר מכלי רכב ושייט
- דיגום וניטור של איכות האוויר ובריאות האוכלוסייה
- הפחתת סיכונים חומרים מסוכנים
- הנגשת מידע סביבתי לציבור

פעולות רבות בוצעו במטרה להשיג את יעדי התוכנית. לדוגמה – מעבר למטרוניות "ירוקות" באזור מפרץ חיפה והסביבה.



### המטרוניות ה"ירוקות" יוצאות לדרך

לאחרונה שש מטרוניות היברידיות הופעלו בפילוט חדש במטרה להפחית את זיהום האוויר במטרופולין חיפה. "המטרוניות הירוקות" יופעלו בפילוט, שיימשך מספר חודשים, ובמידה והוא יעבור בהצלחה, ירכשו מטרוניות היברידיות נוספות במטרה להגדיל את השימוש בתחבורה ירוקה. רמת זיהום האוויר

הנפלטת מהמטרונות ההיברידית קטנה בכ-90% לעומת אוטובוסים רגילים (כ-90 אוטובוסים) הפועלים כיום. כמו כן גם צריכת הדלק של המטרונות הירוקות נמוכה בכ-30% בהשוואה לאוטובוס רגיל. [לכתבה המלאה היכנסו לקישור זה.](#)

לפניכם [כתבה שהתפרסמה](#) ביוני 2019 עם ממצאי הביניים בעקבות ישום התוכנית. הכתבה מציגה את המאמצים שעשה המשרד להגנת הסביבה בשיתוף עם גורמים אחרים באזור מפרץ חיפה להפחתת הזיהום באזור.

### **הנחיות פעילות מסכמת לפרויקט**

אחרי שלמדתם וחקרתם את נושא איכות האוויר בכלל ובמפרץ חיפה והסביבה בפרט, אתם מומחים שמוניתם מטעם המשרד להגנת הסביבה ואיגוד ערים חיפה. במסגרת תוכנית החומש של המשרד להגנת הסביבה, נשכרתם על ידי המשרד במטרה להכין מצגת אשר תוצג בפני מקבלי ההחלטות בממשלה.

### **שלב ראשון – הכרת התוכנית הלאומית**

קראו בעיון את מסמך התוכנית לצמצום זיהום האוויר במפרץ חיפה. התמקדו בשלושה נושאים בתוכנית. כל חבר בקבוצה יבחר להתעמק באחד משלושת הנושאים המרכזיים בהם עוסקת התוכנית:

1. צמצום זיהום האוויר מהתעשייה וממקורות פליטה נייחים
2. צמצום זיהום האוויר מכלי רכב
3. דיגום וניטור של איכות האוויר ובריאות האוכלוסייה

### **שלב שני – הכנת מצגת מידע**

עליכם להכין מצגת למקבלי ההחלטות בממשלה אשר תתאר את התוכנית שתוכננה בשנת 2015. ואת ממצאי הביניים שהפרסמו בשנת 2019. המצגת תכיל 15-20 שקפים בהתאם לפרוט הבא:

- שקף שער עם הנושא ושמות חברי הקבוצה
- מבוא קצר על בעיית זיהום האוויר במפרץ חיפה (5-6 שקפים) – יש להתבסס על החומר שלמדתם לכל אורך הפרויקט
- מידע לגבי כל אחד משלושת התחומים שהתמקדם בהם בתוכנית (5-6 שקפים) – יש להתבסס על תוכנית החומש
- ממצאים מסיכון הביניים משנת 2019 בעקבות ישום התוכנית (2-3 שקפים) – יש להתבסס על הכתבה בנושא (שימו לב לגרף המוצג בכתבה)

- מסקנות והמלצות שלכם להמשך שיפור איכות האוויר במפרץ חיפה (2-3 שקפים) – מומלץ להיעזר [במאמר שכתב ביוני 2017 דר' עופר דרסלר מנכ"ל איגוד ערים חיפה](#). הסיקו מסקנות בהתבסס על הידע שרכשתם ביחידת הלימוד וגבשו המלצות להמשך.
- בבליוגרפיה (שקף)

#### להלן "טיפים" שיסייעו לכם בהכנה המצגת:

- המידע במצגת צריך להיות כתוב בשפה ברורה, ללא עומס בפרטים אך עם מידע משמעותי.
- תנו ביטוי ליצירתיות והמקוריות שלכם ובנו אותה בצורה מושכת לקהל היעד.
- יש לצרף גרפים מתאימים וכן מומלץ לצרף תמונות, סכמות ואיורים בתנאי שהם רלוונטיים לנושא
- מומלץ לתת שם בעל עניין (סלוגן) שיופיע בשקף הראשון במצגת
- כתבו את שמות חברי הקבוצה, הכיתה ובית הספר – שקף שער
- צרפו קישורים לכל המקורות בהם השתמשתם
- יש להעביר את המצגת להערכה מעצבת של המורה לפי לוח זמנים שיקבע בכיתה.

#### להלן "טיפים" להכנה חזותית של המצגת:

- לכל שקף שימו כותרת. כל הכותרות באותו פונט וגודל
- אין לשים קטעי טקסט ארוכים. מומלץ בעיקר משפטי מפתח.
- גודל הפונט יהיה לפחות 20.
- חשוב לא להעמיס כיתוב ו/או איורים בשקף אחד
- מומלץ לארגן את המידע ככל האפשר בסכמות, טבלאות או גרפים
- מומלץ לבחור ברקע אחד זהה לכל השקפים. עדיף רקע בהיר וכיתוב כהה עליו.

מחונן להכנת מצגת מידע והצגתה בכיתה

ציון והערות	מדדי ביצוע			פירוט	קריטריון וחלקו היחסי בציון
	חלש	בינוני	גבוה		
	1-3	4-7	8-10	שימוש נכון במושגים ובשפה מדעית, ניסוח ברור	<b>תוכן המצגת 40%</b>
	1-7	7-14	15-20	סיכום ערוך היטב של ההיבטים המרכזיים המופיעים בכל אחד משלושת הנושאים בתוכנית	
	1-3	4-7	8-10	התבססות על גרפים גרפים מתאימים וכן שימוש בסכמות, טבלאות ואיורים	
	1-3	4-7	8-10	שקפים לא עמוסים, כיתוב ברור, כותרת לכל שקף, רצף לוגי	<b>מבנה חזותי של המצגת 20%</b>
	1-3	4-7	8-10	תוספת של ייצוגים כגון: תמונות, גרפים, איורים, טבלאות וסכמות התורמות להבנת הצגת הנושא	
	1-3	4-7	8-10	שיתוף פעולה בין חברי הצוות תוך הכנה מקדימה של דרך ההצגה	<b>הצגת המצגת בכיתה 20%</b>
	1-3	4-7	8-10	בהצגה יש ביטוי של הבנת הנושא, יכולת להרחיב ולהסביר מעבר למשפטים הכתובים במצגת	
	1-3	4-7	8-10	קיים ביטוי לחשיבה יצירתית ומקוריות: בדרך בה מוצג הנושא או הוספת מידע חדש או ייחודי	<b>יצירתיות ומקוריות 10%</b>
	1-3	4-7	8-10	עמידה בלוח זמנים במהלך הצגת המצגת ובתהליך הכנתה כולל הגשה להערכה מעצבת של המורה וביצוע תיקונים	<b>עמידה בלוח זמנים 10%</b>

---

## מקורות

---

### [המשרד להגנת הסביבה](#)

בפעילויות השונות מצורפים כל הקישורים לאתרים הרלוונטיים.  
המקורות הבאים מתייחסים למידע המוצג בפרקים השונים.

[פרק: בעיית זיהום האוויר במפרץ חיפה - - מיתוסים ועובדות  
איכות האוויר - תמונת מצב לשנת 2014 , המשרד להגנת הסביבה](#)

[פרק: מזהמי אוויר - סוגים, מקורות ונזקים  
חלקיקים:](#)

- [אתר המשרד להגנת הסביבה - מפל"ס - מרשם פליטות לסביבה](#)
- [אתר המשרד להגנת הסביבה – מאמר בנושא חלקיקים](#)
- [אתר המשרד להגנת הסביבה – מרשם הפליטות לסביבה – מפלס, דיווח 2015](#)
- [סבבה – אוויר – זיהום אוויר](#)
- [http://kids.gov.il/sababa/sababa\\_pool/pages/4451](http://kids.gov.il/sababa/sababa_pool/pages/4451)
- [מדיניות הטיפול בפסולת חקלאית – מאמר מטעם המשרד להגנת הסביבה](#)

תחמוצות חנקן:

- [אתר המשרד להגנת הסביבה – מאמר בנושא תרכובות NO<sub>x</sub>](#)
- [סבבה – אוויר – זיהום אוויר](#)
- [סבבה – מידע סביבתי – תחבורה – רכבים היברידיים](#)
- [איגוד ערים חיפה – מסמך בנושא זיהום אוויר מכלי רכב](#)

תחמוצות גפרית:

- [איגוד ערים חיפה – מפת תחנות ניטור וקריאת נתונים בזמן אמת](#)
- [אתר המשרד להגנת הסביבה – מידע בנושא תחמוצות גופרית](#)
- הרשקוביץ, א. וסער ל. (2007). הכל כימיה, ניתוח מאמרים מדעיים מעובדים וחקר אירועים. הוצאת יסוד.

פרק ניטור אוויר

- האתר של מנ"א [/http://www.svivaqm.net](http://www.svivaqm.net)
- מפת תחנות לניטור איכות אוויר בפריסה ארצית באתר של המשרד להגנת הסביבה  
<http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/SvivaAir/AirQualityData/NationalAirMonitoring/Pages/MonitoringStationsMap.aspx>
- אתר איגוד ערים: <http://www.envihaifa.net/Default.rtl.aspx>